

126659

**ÇİFT KABUK CAM CEPHELERİN ENERJİ VE EKONOMİK
ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE
KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM**

**YÜCE YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Mimar İkbal ÇETİNER
(502922208)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Eylül 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Şubat 2002**

Tez Danışmanı :

Doç. Dr. Lemi YÜCESOY

Diğer Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ertan ÖZKAN (B.Ü.)

Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY (M.S.Ü.)

Doç. Dr. Gül KOÇLAR ORAL (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Murat AYGÜN (İ.T.Ü.)

ŞUBAT 2002

126659

ÖNSÖZ

Cam cepheler, ülkemizde özellikle son yıllarda yaygın olarak uygulanmaya başlayan yüksek yapılar için vazgeçilemez bir yapı kabuğu haline gelmiştir. Ancak bu cepheler binanın mekanik sistemlerine geleneksel cephelere oranla daha fazla yük getirmektedir. Bu durum, binanın enerji tüketiminin ve buna bağlı olarak kullanım süreci içindeki enerji maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde bu soruna bir çözüm olması amacıyla geliştirilen çift kabuk cam cephelerin, ülkemizde enerji ve ekonomik açıdan ne ölçüde bir etkinlik sağlayacağını belirlemek amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

Tez çalışmam boyunca ilgi ve yardımlarını gördüğüm, fikir ve görüşlerinden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. Lemi YÜCESOY'a, yazım sürecinde eleştiri ve önerileri ile her zaman yol gösterici olan hocam Prof. Dr. Ertan ÖZKAN'a, yaşadığım bu sıkıntılı süreçte bana sabreden tüm kürsü arkadaşlarıma,

Cam cephe sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerini belirlemede yardımcı olan Metal ve Yapı Sistemleri A.Ş., Çuhadaroğlu Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş., Safi İnşaat Sistemleri A.Ş., Decoral Alüminyum San. ve Tic. Ltd. Şti. ve ŞİŞECAM A.Ş. yetkililerine,

Tüm eğitim hayatım boyunca gösterdikleri anlayış, sabır ve destekten dolayı AİLEME,

teşekkürlerimi sunarım.

ŞUBAT 2002

İkbal ÇETİNER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Tezde İzlenen Yöntem.....	2
2. CAM CEPHELER.....	4
2.1 Enerji Etkin Tasarım Anlayışının Ortaya Çıkışı.....	5
2.2 Akıllı Sistemler.....	6
2.3 Akıllı Kabuk.....	7
2.4 İklimle Dengeli Cephe Tasarımları.....	8
2.5 Çift Kabuk Cam Cepheler.....	11
2.5.1 Çift kabuk cam cephelerin özellikleri.....	11
2.5.2 Çift kabuk cam cephelerin olumlu ve olumsuz yönleri.....	13
2.5.3 Çift kabuk cam cephe uygulamaları.....	14
2.5.4 Çift kabuk cam cepheyi oluşturan bileşenler.....	21
2.5.4.1 Saydam paneller.....	21
2.5.4.2 Opak paneller.....	22
2.5.4.3 Taşıyıcı bileşenler.....	23
2.5.4.4 Tespit bileşenleri.....	23
2.5.4.5 Havalandırma boşluğu.....	24
2.5.4.6 Güneş kontrol elemanları.....	24
2.5.4.7 Yürüme yolu.....	24
2.6 Sonuç.....	24
3. CAM CEPHENİN ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİĞİNE ETKİ EDEN ETMENLER, PERFORMANS GEREKSİNİMLERİ, ÖZELLİKLERİ VE ÖLÇÜTLERİ.....	26
3.1 Cam Cephenin Enerji ve Ekonomik Etkinliğine Etki Eden Etmenler...	26
3.1.1 Doğal ve yapay çevreye bağlı etmenler.....	26
3.1.1.1 Dış etmenler.....	27
3.1.1.2 İç etmenler.....	30
3.1.2 Ekonomik etmenler.....	30
3.2 Cam Cepheden Beklenen Performans Gereksinimleri.....	31
3.2.1 Enerji korunumu.....	33
3.2.2 Hava sızdırmazlık.....	34
3.2.3 Su sızdırmazlık.....	34

3.2.4 Rüzgara dayanıklılık.....	35
3.2.5 Doğal havalandırma.....	35
3.2.6 Doğal aydınlatma.....	35
3.2.7 Ses geçirimsizlik.....	36
3.2.8 Yangına dayanıklılık.....	36
3.2.9 Uzun ömürlülük.....	36
3.2.10 Estetik.....	36
3.2.11 Ekonomi.....	37
3.3 Cam Cepheden Beklenen Performans Özellikleri ve Ölçütleri.....	37
3.3.1 Isısal ve optik özellikler / Ölçütler.....	37
3.3.2 Hava sızdırganlığı / Hava sızdırganlık oranı.....	38
3.3.3 Su sızdırmazlık / Su sızdırmazlık sınırı.....	39
3.3.4 Rüzgar dayanımı / Rüzgar direnci.....	39
3.3.5 Doğal havalandırma sağlaması / Hava değişim oranı.....	39
3.3.6 Doğal aydınlatma sağlaması / Işık geçirgenlik faktörü.....	39
3.3.7 Ses yalıtımı / Ses yalıtım değeri.....	39
3.3.8 Yangın dayanımı / Yangın direnci.....	40
3.3.9 Dayanıklılık / Yaşam ömrü.....	40
3.3.10 Estetik.....	40
3.3.11 Ekonomiklik / Toplam maliyet.....	40
3.4 Sonuç.....	40
4. CAM CEPHELERDE ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİK VE ENERJİ TÜKETİMİNİN DENETLENMESİ.....	43
4.1 İklimle Dengeli Tasarım İlkeleri.....	44
4.1.1 Güneş ışıınımı kazancının denetimi.....	45
4.1.2 İletim yoluyla ısı geçişinin denetimi.....	46
4.1.3 Hava sızıntısı yoluyla ısı geçişinin denetimi.....	47
4.1.4 Doğal havalandırma sağlamak.....	47
4.1.5 Işınımsal soğutmayı sağlamak.....	48
4.1.6 Buharlaşma ile soğutmayı sağlamak.....	49
4.2 İklimle Dengeli Tasarım İlkeleri Doğrultusunda Alınabilecek Önlemler	49
4.3 Sonuç.....	52
5. ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK YÖNTEMLER VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	54
5.1 Genel Olarak Değerlendirmede Kullanılma Olasılığı Gösteren Yöntemler.....	54
5.2 Enerji ve Ekonomik Etkinliğin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler.....	56
5.3 Enerji ve Ekonomik Etkinliğin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemlere Dayalı Çalışmalar.....	58
5.4 Sonuç.....	60
6. ÇİFT KABUK CAM CEPHELERİN ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM.....	61
6.1 Yaklaşımın Amacı.....	61
6.2 Yaklaşımın Tanıtılması.....	61
6.2.1 Sorunun düzenlenmesi.....	62

6.2.1.1 Çevresel etmenlerin belirlenmesi.....	64
6.2.1.2 Kullanıcı gereksinimlerinin belirlenmesi.....	64
6.2.1.3 Amaçların belirlenmesi.....	64
6.2.1.4 Zorunlulukların belirlenmesi.....	65
6.2.1.5 Performans gereksinimlerinin belirlenmesi.....	65
6.2.1.6 Ölçüt olabilecek özelliklerin belirlenmesi.....	66
6.2.1.7 Performans ölçütlerinin belirlenmesi.....	66
6.2.1.8 Seçeneklerin belirlenmesi.....	67
6.2.2 Modelin kurulması.....	70
6.2.2.1 Seçeneklerin enerji yüklerinin analizi ve değerlendirilmesi.....	72
6.2.2.2 Seçeneklerin toplam yaşam dönemi maliyetlerinin analizi ve değerlendirilmesi.....	76
6.2.3 Sorunun çözümü (Karşılaştırma ve Seçim).....	81
6.2.4 Uygunluk kontrolü.....	82
6.3 Sonuç.....	84
7. YAKLAŞIMIN İSTANBUL'DAKİ BİR OFİS BİNASININ CEPHESİ İÇİN UYGULANMASI.....	85
7.1 Çevresel Etmenlerin Belirlenmesi.....	86
7.2 Kullanıcı Gereksinimlerinin Belirlenmesi.....	88
7.3 Amaçların Belirlenmesi.....	88
7.4 Zorunlulukların Belirlenmesi.....	88
7.5 Performans Gereksinimlerinin Belirlenmesi.....	88
7.6 Ölçüt Olabilecek Özelliklerin Belirlenmesi.....	89
7.7 Performans Ölçütlerinin Belirlenmesi.....	89
7.8 Cam Kabuk Seçeneklerinin Belirlenmesi.....	90
7.9 Seçeneklerin Enerji Yüklerinin Analizi	94
7.9.1 Seçeneklerin ısısal ve optik özelliklerinin hesaplanması.....	96
7.9.2 Seçeneklerin ısı kayıp ve kazançlarının hesaplanması.....	97
7.9.3 Seçeneklerin toplam enerji yüklerinin ve tüketimlerinin hesaplanması.....	97
7.9.4 Seçeneklerin enerji tüketimlerinin değerlendirilmesi.....	97
7.10 Seçeneklerin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Analizi.....	100
7.10.1 Yaşam dönemi içindeki enerji maliyetlerinin hesaplanması.....	101
7.10.2 İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanması.....	101
7.10.3 Toplam yaşam dönemi maliyetlerinin hesaplanması.....	102
7.10.4 Seçeneklerin yaşam dönemi maliyetlerinin değerlendirilmesi.....	102
7.11 Karşılaştırma ve Seçim.....	105
7.12 Sonuç.....	106
8. SONUÇLAR.....	107
KAYNAKLAR.....	112
EKLER.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	149

KISALTMALAR

CWCT	: Center for Window&Cladding Technology.
LWC	: Long Wave Component
SWC	: Short Wave Component
ASTM	: The American Society for Testing and Materials.
TS	: Türk Standartları.
BRE	: Building Research Establishment.
DIN	: Deutsches Institut für Normung.
LCC	: Life Cycle Costing.
HVAC	: Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems.
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü.
WIS	: Advanced Windows Information System.
ENER-WIN	: The Windows Version of Energy Calculations for Buildings.
BDF	: Bugünkü değer faktörü.
TYDM	: Toplam yaşam dönemi maliyeti.

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Bir binadaki bileşenlerin hizmet ömürleri.....	7
Tablo 3.1 Cephenin ekonomik etkinliğine etki eden etmenler.....	31
Tablo 3.2 Cephenin enerji ve ekonomik etkinliğine etki eden etmenler.....	41
Tablo 3.3 Enerji ve ekonomik etkin bir cam cepheden beklenen performans gereksinimleri, özellikleri ve ölçütleri.....	42
Tablo 4.1 İklimsel tasarım ilkeleri.....	44
Tablo 4.2 Kontrol ilkeleri.....	45
Tablo 4.3 İklimsel tasarım ilkeleri doğrultusunda alınabilecek önlemler.....	53
Tablo 6.1 Amaçların düzenlenmesi.....	65
Tablo 6.2 Zorunlulukların düzenlenmesi.....	65
Tablo 6.3 Performans gereksinimlerinin düzenlenmesi.....	66
Tablo 6.4 Ölçüt olabilecek özelliklerin düzenlenmesi.....	66
Tablo 6.5 Performans ölçütlerinin düzenlenmesi.....	67
Tablo 6.6 Çift cam kabuğu oluşturan bileşen, parça ve malzemeler.....	68
Tablo 6.7 Alt değişkenlere bağlı olarak bileşen seçenekleri.....	69
Tablo 6.8 Kabuk seçeneklerinin belirlenmesi.....	71
Tablo 6.9 Seçim sürecindeki işlemler.....	83
Tablo 7.1 Programda kullanılan iklimsel veriler.....	87
Tablo 7.2 Boşluk genişliği ve güneş kontrol elemanı konumunun U ve SHGC değerine etkisi.....	91
Tablo 7.3 Çalışmada kullanılan cam tiplerine ilişkin veriler.....	92
Tablo 7.4 Bileşenlerin konumlarına bağlı olarak eleman seçenekleri.....	93
Tablo 7.5 Eleman seçeneklerinin kodlanması.....	94
Tablo 7.6 Cam kabuk seçenekleri.....	95
Tablo 7.7 Bileşen konumlarına göre enerji tüketimi açısından etkin olan seçenekler.....	100
Tablo 7.8 Bileşen düzeyinde belirlenen birim maliyetler ve bileşen alanları...	102
Tablo 7.9 Bileşen konumlarına göre yaşam dönemi maliyeti açısından etkin seçenekler.....	105
Tablo B.1 Kabuk seçeneklerinin hesap sonucunda belirlenen U ve SHGC değerleri.....	126
Tablo B.2 Kabuk seçeneklerinin yıllık enerji yükleri.....	128
Tablo B.3 Kabuk seçeneklerinin yıllık enerji tüketimleri.....	130
Tablo B.4 Kabuk seçeneklerinin enerji tüketimi maliyetleri.....	132
Tablo B.5 Kabuk seçeneklerinin ilk yatırım, enerji ve toplam yaşam dönemi maliyetleri.....	134

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	İklimle dengeli cephe için bir örnek.....	9
Şekil 2.2	Çift kabuk cephe.....	9
Şekil 2.3	Sıkıştırılmış cephe.....	10
Şekil 2.4	Çift kabuk cephelerde havalandırma biçimleri.....	12
Şekil 2.5	Stuttgart'taki bir ofis binası cephesinin ses yalıtımı değerleri.....	13
Şekil 2.6	Briarcliff evi çift kabuk cam cephesinin kesiti.....	15
Şekil 2.7	Samsung Genel Müdürlük Binası'nın cephesi.....	16
Şekil 2.8	Commerzbank binasında yaz-kış durumu.....	17
Şekil 2.9	RWE AG Genel Müdürlük Binası'nın cephe kesiti.....	17
Şekil 2.10	Duisburg'daki İş Merkezi'nin cephe kesiti.....	18
Şekil 2.11	Spirit binası çift kabuk cephesinin kesiti.....	19
Şekil 2.12	Belçika'daki bir ofis binası cephesinin kesiti.....	20
Şekil 2.13	Glaxo Wellcome Genel Müdürlük Binası'nın cephe kesiti.....	20
Şekil 3.1	Cam yüzeyde güneş ışıınının dağılımı.....	29
Şekil 4.1	Baca etkisi.....	49
Şekil 6.1	Çift kabuk cam cephelerin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım.....	63
Şekil 6.2	Seçeneklerin enerji yüklerinin analizi ve değerlendirilmesi.....	73
Şekil 6.3	Seçeneklerin yaşam dönemi maliyetlerinin analizi ve değerlendirilmesi.....	78
Şekil 7.1	Simülasyonda kullanılan ofis binasının şematik planı.....	86
Şekil A.1	WIS programını oluşturan modüller arasındaki ilişkiler.....	118
Şekil A.2	Pencere sistemindeki hava akışı ve sıcaklıklar.....	120
Şekil A.3	ENER-WIN programını oluşturan modüller arasındaki ilişkiler.....	122
Şekil B.1	Bileşenlerin konumuna bağlı olarak oluşturulan gruplardaki seçeneklerin ısıtma ve soğutma yükleri.....	135
Şekil B.2	Bileşenlerin konumuna bağlı olarak oluşturulan gruplardaki seçeneklerin yıllık enerji tüketimleri.....	138
Şekil B.3	Seçeneklerin yıllık enerji tüketimleri.....	141
Şekil B.4	Seçeneklerin yaşam dönemi enerji maliyetleri.....	142
Şekil B.5	Seçeneklerin ilk yatırım maliyetleri.....	143
Şekil B.6	Seçeneklerin yaşam dönemi maliyetleri.....	144
Şekil B.7	Bileşenlerin konumuna bağlı olarak oluşturulan gruplardaki seçeneklerin enerji – ilk yatırım – yaşam dönemi maliyetleri.....	145
Şekil B.8	Seçeneklerin enerji ve ekonomik etkinlikleri (%).....	148

SEMBOL LİSTESİ

		BİRİM
$1/\Lambda$	: Isı geçirgenlik direnci.....	m^2K/W
U	: Isı geçirme katsayısı.....	W/m^2K
$SHGC$	: Güneş ısı kazanç katsayısı.....	-----
c	: Malzemenin özgül ısısı.....	Wh/kgK
$\bar{W}$	: Isı depolama değeri.....	Wh/m^2K
I	: Hava değişim oranı.....	ac/h
E_Y	: Yıllık enerji yükü.....	kWh
E_I, E_S	: Yıllık ısıtma ve soğutma yükleri.....	kWh
E_{II}, E_{SI}	: İletkenlik yoluyla oluşan ısıtma ve soğutma yükleri.....	kWh
E_{IG}, E_{SG}	: Güneş ışıınımı yoluyla oluşan ısıtma ve soğutma yükleri.....	kWh
E_{IH}, E_{SH}	: Hava sızıntısı yoluyla oluşan ısıtma ve soğutma yükleri.....	kWh
E_{IK}, E_{SK}	: Kütle etkisinden kaynaklanan ısıtma ve soğutma yükleri.....	kWh
E_{TT}	: Yıllık enerji tüketimi.....	kWh/m^2
E_{IT}, E_{ST}	: Yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi.....	kWh/m^2
M_I, M_S	: Yıllık ısıtma ve soğutma maliyetleri.....	TL
M_{BI}, M_{BS}	: Isıtma ve soğutma enerjisi birim maliyetleri.....	TL
i, s	: Isıtma ve soğutma sistemlerinin etkinliği	$\%$
r	: İskonto oranı.....	$\%$
n	: Yaşam dönemi.....	YIL
M_{IB}, M_{SB}	: Yıllık ısıtma ve soğutma maliyetlerinin bugünkü değerleri.....	TL
M_{YIB}	: Toplam yaşam dönemi ısıtma maliyetinin bugünkü değeri.....	TL
M_{YSB}	: Toplam yaşam dönemi soğutma maliyetinin bugünkü değeri.....	TL
M_{TYB}	: Toplam yaşam dönemi enerji maliyetinin bugünkü değeri.....	TL
M_Y	: İlk yatırım maliyeti.....	TL
m	: Bileşen sayısı.....	-----
$A_1 - A_m$	: Cam cepheyi oluşturan bileşenlerin alanları.....	m^2
$M_1 - M_m$	: Bileşenlerin m^2 başına birim maliyetleri.....	TL
M_Y	: İlk yatırım maliyeti.....	TL
M_T	: Yıllık temizlik maliyetleri.....	TL
$M_{O1} - M_{Oz}$	: Belli dönemlerde yapılacak onarım maliyetleri.....	TL
M_{YTB}	: Yaşam dönemi temizlik maliyetlerinin bugünkü değeri.....	TL
M_{OB}	: Yaşam dönemi onarım maliyetlerinin bugünkü değeri.....	TL
M_{TBB}	: Toplam yaşam dönemi bakım-onarım maliyetlerinin bugünkü değeri.....	TL
S	: Seçenek.....	-----

ÇİFT KABUK CAM CEPHELERİN ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Günümüzde cam cepheler kısa bir süre içerisinde uygulanabilmeleri, kolay temizlenebilmeleri, hafif, estetik ve uzun ömürlü olmaları nedenleriyle özellikle yüksek binalarda sıklıkla tercih edilen bir yapı kabuğu haline gelmişlerdir. Ancak bu cephelerin binanın mekanik tesisatına getirdiği ilave yükler; hem enerji tüketiminin hem de kullanım sürecindeki enerji maliyetlerinin artmasına ve kullanıcılarda hasta bina sendromu olarak adlandırılan rahatsızlıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum; enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımına, aşırı yakıt tüketimi sonucu oluşan çevre kirliliğinin azaltılmasına, kullanıcı üretkenliğinin arttırılmasına ve binanın yaşam dönemi maliyetinin azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılmasını zorunlu hale getirmektedir.

Söz konusu problemlere çözüm bulmak amacıyla yapılan bu çalışmalarda, cam kabuğun iç ve dış iklim arasında denge sağlayabilen dinamik bir örtü olarak tasarlanması yoluyla etkinliğinin arttırılabileceği düşünülmektedir. Hem enerji kullanımını azaltmak hem de iç mekan konforunu geliştirmek üzere tasarlanan bu kabuk; ısıtma, havalandırma ve aydınlatma gibi birbirleriyle çelişen ihtiyaçları sağlamak üzere çok işlevli bir eleman olarak düşünülmektedir. Böyle bir kabuk ile; enerji tüketimini azaltmak yoluyla binanın işletme maliyetlerinin azaltılması ve kullanıcı konforunun sağlandığı mekanların oluşturulması mümkün olmaktadır.

Gelişmiş ülkelerde enerji etkin bir cam kabuk oluşturmak amacıyla yapılan çalışmalar, camın ve cam cephe sistemlerinin geliştirilmesi yönünde halen devam etmektedir. Bu çerçevede; mekan konforunun mekanik sistemlerin daha az kullanılması yoluyla sağlanması için, değişen iklim şartlarına göre ısısal ve optik özelliklerini değiştirebilen camların ve ısıtma / soğutma yüklerini azaltabilen, doğal havalandırmaya imkan tanıyan, kullanıcı gereksinimlerine optimum düzeyde cevap verebilen cephe sistemlerinin geliştirilmesi yönünde pek çok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmalar sonucunda geliştirilen çift kabuk cam cephe sistemleri; ilk yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte binanın enerji tüketimini azaltarak kullanım sürecindeki enerji maliyetlerinin düşmesine ve mekanik sistemlerin kullanımını azaltması nedeniyle daha konforlu mekanlar oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Tezde, bu sistemlerin ülkemizde uygulanması halinde, enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyeti açısından ne ölçüde bir etkinlik sağlayacağını belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla önerilen yaklaşım;

- Enerji ve ekonomik etkinlik açılarından en fazla fayda sağlayacak olan seçeneklerin,
- Çift kabuk cam cepheler için uygun bileşen özelliklerinin

belirlenmesi sorununa çözüm aramaktadır.

Başlıca üç aşamada sonuca ulaşılan tezde; sekiz bölüm yer almaktadır.

Birinci aşamada; çift kabuk cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla önerilen yaklaşımda yer alan süreçlerin sonuca ulaşması için gerekli olan bilgiler verilmektedir. Bu çerçevede:

- Tezde ele alınan konunun amacı ve tezin yöntemi açıklanmaktadır (Bölüm 1).
- Çift kabuk cam cephelerin ortaya çıkış süreci, özellikleri ve uygulanmış örnekleri hakkında bilgi verilerek bu cepheleri oluşturan bileşenler belirlenmektedir (Bölüm 2).
- Cam cepheye etki eden etmenler, bir cam cepheden beklenen performans gereksinimleri, özellikleri ve ölçütleri açıklanarak; enerji ve ekonomik etkin bir cepheden beklenen performans gereksinimleri ve ölçütleri ortaya koyulmaktadır (Bölüm 3).
- Bir cephenin enerji tüketiminin denetlenmesi ile, gerek enerji kaynakları gerekse toplam maliyet açısından bir etkinlik sağlanabileceği vurgulanarak; denetim yapılmasına ilişkin tasarım ilkelerinden bahsedilmektedir (Bölüm 4).
- Genel olarak değerlendirmede kullanılma olasılığı gösteren yaklaşımlardan bahsedilerek, enerji ve ekonomik etkinliğin değerlendirilmesini amaçlayan çalışmalarda izlenen yöntemlerden bahsedilmektedir (Bölüm 5).

İkinci aşamada; çift kabuk cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek yaklaşım açıklanarak, uygulanabilirliğini kontrol etmek amacıyla bir uygulama yapılmaktadır.

- Önerilen yaklaşıma göre; yöneylem araştırmasında izlenen yoldan hareket edilerek:
 - ✓ Sorunun düzenlenmesi,
 - ✓ Modelin kurulması,
 - ✓ Sorunun çözümü,

süreçleri ile sonuca ulaşılmaktadır (Bölüm 6).

Sorunun düzenlenmesi sürecinde; birinci aşamada verilen bilgilerden yararlanılarak, cam cepheye etki eden etmenler ve kullanıcı gereksinimleri doğrultusunda; amaçlar, gereksinimler, özellikler, ölçütler ve seçenekler belirlenmektedir.

Modelin kurulması sürecinde; sorunun düzenlenmesi sürecinde geliştirilen cam kabuk seçeneklerinin enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetleri ile bu değerlere bağlı olarak uygun bileşen özelliklerinin (bileşenin konumu, biçimi, boyutu, malzemesi vb) belirlenmesine imkan tanıyan bir model oluşturulmaktadır. Bu modele göre;

- I. Seçeneklerin enerji tüketimleri (E_{TT}); iklimsel verilere (hava sıcaklığı, hava nemliliği, güneş ışıınımı, rüzgar), kabuğun ısısal ve solar özelliklerine, bina ve çevresinin özelliklerine bağlı olarak belirlenen ısıtma ve soğutma yükleri ile (E_I , E_S). ısıtma ve soğutma sistemlerinin etkinliklerine (i , s) göre hesaplanan ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin (E_{IT} , E_{ST}) toplamından oluşmaktadır. Bu toplam aşağıdaki denklem ile belirlenmektedir:

$$E_{TT} = E_{IT} + E_{ST} \quad (E_{IT} = E_I / i, E_{ST} = E_S / s)$$

- II. Yaşam dönemi maliyetleri ise (TYDM); seçeneklerin ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerine (E_{IT} , E_{ST}), enerji birim maliyetlerine (M_{IB} , E_{SB}), cam kabuk için kabul edilen yaşam dönemine (n) ve iskonto oranına (r) bağlı olarak belirlenen enerji maliyetlerinin (M_{TYB}), ilk yatırım maliyetlerinin (M_Y) ve bakım – onarım maliyetlerinin (M_{TBB}) toplamı olarak aşağıdaki denklem ile belirlenmektedir.

$$TYDM = M_Y + M_{TYB} + M_{TBB}$$

- III. Cam kabuk seçenekleri için uygun bileşen özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, seçeneklerin enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetleri karşılaştırılmaktadır.

Sorunun çözümü sürecinde; seçenekler arasında enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyeti en fazla olan seçeneğin hiçbir fayda sağlamayacağı düşüncesi ile etkinliği sıfır olarak kabul edilmekte ve diğer seçeneklerin bu seçeneğe göre etkinlik yüzdeleri belirlenmektedir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile;

- ✓ Ülke kaynaklarının etkin kullanımı açısından enerji tüketimi minimum olan seçenek,
- ✓ Bina sahibi açısından toplam maliyeti minimum olan seçenek,
- ✓ Enerji ve ekonomik etkinlik açısından uygun bileşen özellikleri

belirlenebilmektedir.

- Yaklaşımın kullanılabilirliğini kontrol etmek amacıyla İstanbul'daki bir ofis binası için yapılan uygulama sonucunda; amaçlanan etkinlikteki seçeneklerin ve çift kabuk cam cephe sistemleri için uygun bileşen özelliklerinin belirlenebildiği görülmüştür (Bölüm 7).

Üçüncü aşamada; tezde varılan sonuçlar özetlenmektedir (Bölüm 8).

AN APPROACH FOR THE EVALUATION OF THE ENERGY AND COST EFFICIENCY OF DOUBLE SKIN GLASS FACADES

SUMMARY

Nowadays glass facades are often preferred as a building envelope especially in high buildings due to the short application time, being easily cleaned as well as being lightweight, esthetic and durable. However, the loads that these systems add to the mechanical equipment of the building increase both energy consumption and energy costs in the service life of the building and cause the illnesses referred as sick building syndrome at the occupants. Therefore, the need to study the issues related to using the energy sources effectively, decreasing the environmental pollution resulting from extensive fuel consumption, increasing occupant productivity and reducing the life cycle cost of building have arisen.

Several studies have been carried out in order to find solutions for the above mentioned problems; and it has been concluded that the efficiency of glass facades can only be increased by designing it as a dynamic envelope that can establish balance between internal and external climate. This type of envelope which is designed to reduce energy use and improve indoor space comfort is considered as a multiple functional element that can provide the contradicted requirements such as heating, ventilation and lighting. With such an envelope, it is possible to decrease operational costs of building by reducing energy consumption as well as creating interiors that can provide the occupant comfort.

In the developed countries, the studies that are carried out to create an energy efficient glass skin are still continuing as improving the glass and glass facade systems. In this context, in order to provide interior comfort by reducing the use of the mechanical systems, many studies are carried out to improve both glasses which can change their thermal and optical properties according to the climatic conditions and façade systems which can decrease heating and cooling loads, provide natural ventilation and meet occupant requirements in the optimum level.

As a result of these studies, double skin glass façade systems are developed. Although their initial investment costs are high, they lower the energy cost during the service life of the building and create more comfortable spaces by reducing the use of mechanical systems.

The aim of the thesis is to determine to what extent these systems can provide efficiency in terms of energy consumption and life cycle cost when they are applied in buildings in Turkey. The proposed approach looks for a solution to determine the followings:

- The alternatives that can provide the maximum benefit in terms of energy and cost efficiency,
- Component properties which are suitable for double skin glass facades.

The thesis arrives to a solution mainly in three stages, and it consists of eight sections.

In the first stage; knowledge that necessitates to determine and set up the processes which take part in the proposed approach that aims the evaluation of the energy and cost efficiency of double skin glass facades are given. In this context:

- The aim of the issue considered in the thesis and the method of the thesis are explained (Section 1).
- The knowledge about the development process of double skin glass facades, their properties and the applied examples are presented. In addition, the components of these facades are determined (Section 2).
- The agents that effect a glass façade, the performance requirements that are expected from a glass façade, properties and criteria are explained; the performance requirements, properties and criteria related to an energy and cost efficient glass façade are put forwarded (Section 3).
- Emphasizing that an efficiency can be achieved in terms of both energy sources and total cost when the energy consumption of a façade is controlled; the design principles related to performing control are mentioned (Section 4).
- The approaches and methods which can be used in evaluation are explained; the methods that are used in the studies which aim the evaluation of energy and cost efficiency are mentioned (Section 5).

In the second stage; the approach that can be used in the evaluation of energy and cost efficiency of double skin glass facade is explained and a practice is carried out in order to find out whether or not it is suitable for the aim.

- In the proposed approach; utilizing from the steps followed in ‘operations research’, the result is obtained by the following processes (Section 6):
 - ✓ Formulation of the problem,
 - ✓ Building of the model,
 - ✓ The solution of the problem

In the process of the formulation of the problem; benefiting from the knowledge introduced in the first stage, objectives, constraints, requirement, properties, criteria and alternatives are determined according to both the agents that effect the glass façade and occupant requirements.

In the process of building of the model; a model which enables the determination of both energy consumption and life cycle cost of the glass facade alternatives generated in the process of formulation of the problem and

the suitable properties (place, shape, dimension and material) of the components is created. According to the model;

- I. Energy consumption of the alternatives (E_{TT}) are composed of the total heating and cooling energy consumption (E_{HT} , E_{ST}) which are calculated depending on both heating and cooling loads (E_H , E_S), which are determined in accordance with climatic data, thermal and solar properties of the skin, the properties of building and its environment, and the efficiencies of heating and cooling systems (h , s). This total is determined by the following formula:

$$E_{TT} = E_{HT} + E_{ST} \quad (E_{HT} = E_H / h, E_{ST} = E_S / s)$$

- II. Life cycle cost of the alternatives ($TYDM$) are calculated by summing up the energy costs, initial investment costs (M_Y) and maintenance costs (M_{TBB}). The energy costs are determined depending on their heating and cooling energy consumption, energy unit costs (M_{HT} , M_{ST}), the life cycle period (n) and discount rate (r). The formula is as follows:

$$TYDM = M_Y + M_{TYB} + M_{TBB}$$

- III. In order to determine the suitable component properties for double skin glass facades, energy consumption and life cycle costs of the alternatives are compared.

In the process of the solution of the problem; it is accepted that the alternative whose energy consumption and life cycle cost is maximum among the others will not prove to be useful; therefore, its efficiency is attained as zero. The efficiency percentage of the other alternatives are calculated according to this alternative. When the results are compared;

- ✓ The alternative whose energy consumption is minimum in terms of the efficient use of country sources,
- ✓ The alternative whose life cycle cost is minimum in terms of building owners,
- ✓ Suitable component properties in terms of energy and cost efficiency

can be determined.

- In order to determine the usability of the approach, it has been applied to an office building in Istanbul. It has been concluded that the alternatives in the aimed efficiency can be determined (Section 7).

In the third stage; the results that have been attained in the thesis are summarized (Section 8).

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde enerji kaynaklarının giderek azalması ve aşırı yakıt kullanımı sonucu çevre kirliliğinin artması, dünyadaki tüm ülkeler için önemli bir problem oluşturmaktadır. Bu doğrultuda, her alanda olduğu gibi bina endüstrisi alanında da enerjinin etkin bir şekilde kullanımına yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bunlar arasında yapı kabuğunun ısı kayıp ve kazançlarından kaynaklanan enerji tüketiminin denetlenmesini amaçlayan çalışmalar önemli bir yer tutmaktadır. Söz konusu denetim ile, kullanılan enerji miktarındaki azalmaya paralel olarak binanın kullanım sürecindeki enerji maliyetlerinde de bir düşme gerçekleşmektedir.

Enerjinin etkin bir şekilde kullanımına bağlı olarak binanın toplam maliyetinde bir azalma sağlanması konusu, özellikle son yıllarda ülkemizde yaygın bir şekilde uygulanmaya başlayan cam cepheli yüksek binalar için önem taşımaktadır. Bu binalarda; kışın cam kabuktaki ısı kayıpları, yazın ise ısı kazançları nedeniyle artan ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri, kullanılan enerji miktarı kadar enerji maliyetlerini de önemli ölçüde etkilemektedir. Gelişmiş ülkelerde bu soruna çözüm bulmak amacıyla, camın ve cam cephe sistemlerinin geliştirilmesine yönelik pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda geliştirilen çift kabuk cam cephe sistemleri; ilk yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte binanın enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmakta ve klima sistemlerinin kullanımını azaltması nedeniyle daha konforlu mekanlar oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Tezde; bu sistemlerin ülkemizde kullanılması halinde enerji tüketimi ve toplam maliyet açısından ne ölçüde bir etkinlik sağlayacağını belirlemek amacıyla bir değerlendirme yapılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, ülke kaynakları ve bina sahipleri açısından en fazla fayda sağlayacak olan enerji ve ekonomik etkin seçeneklerin seçimi ve uygun bileşen özelliklerinin belirlenmesi için bir çözüm aranmaktadır.

1.2 Tezde İzlenen Yöntem

Enerji ve ekonomik etkin seçeneklerin belirlenmesi probleminin, seçenekler arasında karar vermede yaygın olarak kullanılan yöneylem araştırmasında izlenen yoldan hareketle çözülebileceği düşünülmektedir. Bu yöntem doğrultusunda seçim yapılabilmesi için;

- Seçimde yer alan öğelerin belirlenmesi,
- Öğeler arasındaki ilişkilerin ortaya koyulmasına yardımcı olacak bir modelin kurulması,
- Karşılaştırma yoluyla seçim yapılması

gerekmektedir. Buradan yola çıkılarak, tezde izlenen yöntem aşağıda açıklanmaktadır:

I. Seçimde yer alan öğelerin ve modelin belirlenmesine yardımcı olacak ön bilgilerin belirlenmesi:

Bölüm 2 - 5'de toplanan bu bilgiler;

- ✓ Çift kabuk cam cephe sistemini oluşturan bileşenlerin,
- ✓ Enerji ve ekonomik etkinliğe etki eden etmenlerin,
- ✓ Cam cepheden beklenen performans gereksinimlerinin, özelliklerinin ve ölçütlerinin,
- ✓ Enerjinin denetlenmesi amacıyla kabuk tasarımı dikkate alınması gereken ilkelerin,
- ✓ Amaçlanan etkinliğin değerlendirilmesinde kullanılabilecek yöntemlerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

II. Seçimde kullanılacak yaklaşımın açıklanması ve uygunluğunun kontrolü:

Bölüm 6 ve 7'nin konusunu oluşturan bu süreçte; tezde amaçlanan sonuca ulaşmak için önerilen yaklaşım ile bu yaklaşımın kullanılabilirliğini saptamak amacıyla yapılan uygulama açıklanmaktadır. Bu süreçte;

- ✓ Dış iklim değişkenlerini (dış hava sıcaklığı, rüzgar, güneş ışıınımı, vb.) kullanarak binanın ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine

minimum düzeyde görev yükleyen, yeterli enerji korunumunun sağlanmış olduğu enerji etkin seçeneğin,

- ✓ Yapım ve kullanım süreçlerindeki toplam maliyeti (yaşam dönemi maliyeti) minimum olan ekonomik etkin seçeneğin,
- ✓ Enerji ve ekonomik etkinlik açısından uygun bileşen özelliklerinin

belirlenmesi mümkün olmaktadır.

III. Tezin sonuçlarının ortaya koyulması:

Gerek ön bilgilerden gerekse önerilen yaklaşım ve uygulamadan elde edilen sonuçlar özetlenmektedir.



2. CAM CEPHELER

20. yüzyılın başlarından itibaren malzeme ve yapı teknolojisinde gerçekleşen gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan cam cepheler; hafif olmaları, estetik görünümleri, imalat ve montajlarının kolay olması, dış iklime dayanıklılıkları nedeniyle kısa zamanda özellikle yüksek yapılar için vazgeçilmez bir yapı kabuğu haline gelmiştir. Üzerine gelen yükleri tespit bileşenleri yardımıyla taşıyıcı sisteme aktaran bu cam kabuk, iç ve dış iklim arasında bir bariyer oluşturma görevini üstlenmektedir.

Cam cepheler ile birlikte; yüzyıllardır uygulanmakta olan iç mekan konforunun sağlanmasında rüzgar ve güneş gibi doğal enerji kaynaklarından yararlanılması anlayışı, yerini ısıtma, soğutma ve havalandırmanın sağlanmasında mekanik sistemlerin kullanılması anlayışına bırakmaktadır. Günümüzde ise böyle bir anlayış ile oluşturulan binaların kullanım süreçlerindeki işletme maliyetlerinin ve mekanik sistemlerini çalıştırmak için ihtiyaç duyulan enerjinin büyük boyutlara vardığı, sürekli olarak kullanılan mekanik sistemlerin insanlar üzerindeki olumsuz etkileri artık bilinmektedir.

Bu gelişime bağlı olarak söz konusu ihtiyaçlar doğrultusunda gerek cephe sistemleri gerekse cam ve camlama teknolojisi alanında pek çok araştırma yapılmaktadır. Cephe sistemlerinin geliştirilmesi alanında yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan çift kabuk cam cepheler; doğal enerji kaynaklarından yararlanarak enerji tüketiminin, kullanım sürecindeki enerji maliyetlerinin ve kullanıcı konforunun sağlanmasında mekanik tesisatın kullanımının azaltılmasını amaçlamaktadır. Tez içerisinde, şu anda ülkemizde uygulanmakta olan giydirme cam cepheler, çift kabuk cam cephelerle paralellik taşıması açısından tek kabuk cam cepheler olarak adlandırılmaktadır. Aşağıda çift kabuk cam cephelerin ortaya çıkış süreci, özellikleri, uygulanmış örnekleri ve cepheyi oluşturan bileşenler hakkında bilgi verilmektedir.

2.1 Enerji Etkin Tasarım Anlayışının Ortaya Çıkışı

1950’li ve 1960’lı yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte binalarda yüksek düzeyde bir konfor elde edilmiş olmasına rağmen, dış iklim değişkenlerinin dikkate alındığı tasarımlar sıklıkla ihmal edilmiştir. Bina; sıcak bir iklimde daha fazla soğutma, soğuk bir iklimde ise daha fazla ısıtma yapılarak ister bir çölde isterse dağda olsun aynı şekilde planlanmaktaydı.

Zamanla enerji kaynaklarının giderek azalması, aşırı yakıt kullanımı sonucu CO₂ emisyonlarının artması, malzeme üretimi , bina yapım ve işletimi sürecinde ortaya çıkan kirletici maddelerin havaya, suya ve toprağa karışarak çevresel kirliliğe neden olmaları; enerji ihtiyacına ve çevresel isteklere ilişkin konuların bina tasarımında dikkate alınması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

1970’li yıllarda, iklimle dengeli tasarım, enerji etkinlik ve sürdürülebilirlik kavramlarının önem kazanması ile birlikte, bina tasarımında enerji ihtiyacını minimuma indirmeyi amaçlayan ekolojik bir yaklaşım izlenmesi zorunlu hale gelmiştir [1, s.4]. Prior tarafından ofis binalarının çevresel olarak değerlendirilmesi için önerilen metotta; kullanıcı konforunun minimum enerji kullanımı ile sağlandığı çevreye karşı duyarlı tasarımların, doğal kaynakların ve dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı ile sağlanabileceği vurgulanmakta ve bu konular değerlendirmede dikkate alınmaktadır [2, s.1-3]. Twinn, bir binanın sürdürülebilir ve enerji etkin olması için; bina alt sistemlerinin en fazla enerji kullanımı gerektiren fonksiyonlarının belirlenmesi ve bunların enerji kullanımını azaltacak şekilde tasarlanması gerektiğini belirtmektedir [3, s.20].

1993’de Chicago’da yapılan Dünya Mimarlık Kongresi’nde; bahsedilen gelişmelerin bir sonucu olarak doğal çevre ve yaşam kalitesi üzerinde binaların önemli bir rol oynadığı, sürdürülebilir bir tasarımın yaşam kalitesini, enerji etkinliği ve ekonomikliği geliştirirken doğal çevre üzerindeki olumsuz insan etkilerini de büyük ölçüde azalttığı kabul edilmiştir [4].

2.2 Akıllı Sistemler

Enerji etkin tasarımlara duyulan ihtiyacın gitgide artması, bina endüstrisi alanındaki gelişmelerin daha da hızlanmasına ve yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Akıllı binalar olarak adlandırılan bu yeni tasarımlar ile, artık binalar değişen iklim şartlarına karşı minimum enerji kullanarak optimum koşulları sağlamak üzere nasıl hareket edebileceğini tahmin edebilen sistemler haline gelmektedirler.

1987’de J. Bennett, R. Flanagan ve G. Norman, Japon yapı endüstrisi üzerine yayınlanmış raporlarında; akıllı bir binanın içeride ve dışarıda ne olduğunu bilmesi, kullanıcı için en konforlu ve üretken çevreyi sağlama şekline karar verebilmesi ve kullanıcı isteklerine hızla cevap verebilmesi gerektiğini ifade etmektedirler. 1981’de R.A. Keenlyside tarafından yapılan araştırmada ise; kişinin çevre üzerindeki kontrolünün üretkenlikte taşıdığı rol üzerinde durularak, kullanıcının doğal havalandırmalı binalarda mekanik olarak havalandırılan binalara nazaran daha sağlıklı oldukları ortaya koyulmaktadır [5, s.1-21].

Bordass, Bromley ve Leaman tarafından yapılan bir araştırmaya göre; kullanıcı açısından optimum koşullar, iç iklimin kullanıcı tarafından kontrol edilebildiği durumlarda elde edilmektedir [6].

Mill, Dubin, Hartkopf ve Loftness ise, akıllı bina uygulamalarına ilişkin analizlerin yer aldığı Atkin’ in kitabında; binaların değişen iklim şartlarına ve kullanıcı gereksinimlerine karşı dinamik sistemler olarak tasarlanmaları gerektiğini belirterek, binada enerji etkinliğin, mekan konforunun ve iş üretkenliğinin artırılması için kullanıcı kontrolü ile merkezi kontrol sistemlerinin birlikte düşünülmesi gerektiğini ifade etmektedirler [5, s.26].

Sonuç olarak, dış iklimten tamamen izole edilmiş, sadece klima sistemleri ile kontrol edilebilen ve kullanıcılarda ‘Hasta Bina Sendromu’ olarak isimlendirilen rahatsızlıklara (baş ağrısı, sinirlilik, konforsuzluk hissi vb.) neden olan iç mekanlar; iklimle dengeli tasarım anlayışı ile birlikte yerlerini doğal havalandırmalı, kullanıcı tarafından güneş ışınımının kontrolünün yapılabilirdiği, klima sistemlerinin kullanımının azaldığı konforlu ortamlara bırakmaya başlamaktadır.

2.3 Akıllı Kabuk

Akıllı binalar ile ortaya çıkan dinamik sistem arayışları, binayı oluşturan tüm elemanların akıllı olarak tasarlanabileceği düşüncesini beraberinde getirmektedir. J. Jang, ve H. Peng'e göre; bir binanın akıllı olarak kabul edilmesi, fiziksel bina zekasının ve bina yönetim - işletme sistemlerinin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Fiziksel bina zekasının değerlendirilmesinde ise, bir binadaki bileşenlerin hizmet ömürlerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulayarak bileşenlerin hizmet ömürlerini Tablo 2.1'deki gibi sıralamaktadırlar:

Tablo 2.1. Bir binadaki bileşenlerin hizmet ömürleri [7, s.69].

Bina Bileşenleri	Hizmet Ömürleri (yıl)
Strüktür	100
Dış Kabuk	50
Mekanik Sistemler	25
Elektrik Sistemleri	10
İç Bölmeler	5
Enformasyon Teknolojisi	1-3

Bu tabloya göre, dış kabuk bir binanın toplam ömrünün değerlendirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, akıllı bir binanın sahip olması gereken özelliklerin belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir elemandır.

Bina araştırmacılarına göre; iç ve dış iklim arasında ilişki kurma görevini yüklenmiş olan kabuk elemanı binanın enerji etkinliğinin artırılmasında önemli bir görev yüklenmektedir. Bu durum, enerji etkin kabuk tasarımı adı altında yeni cephe sistem ve malzemelerinin geliştirilmesine neden olmaktadır.

Başlangıçta iç ve dış iklim arasındaki ilişki; kullanıcı tarafından kepenkler, jaluziler ve açılan pencereler aracılığıyla sağlanırken, akıllı binalar ile birlikte bu görevi otomatik olarak hareket etme yeteneğine sahip sistemler yüklenmişlerdir. Bu durumda, kabuk içindeki enerji akışları; çevresel değişikliklere cevap vermek üzere binanın merkezi yönetim sistemine bağlı düzenekler aracılığı ile otomatik olarak kontrol edilmektedir [1, s.12].

Akıllı bir kabuk; binalarda enerji kullanımını azaltırken, iç konfor seviyesinin geliştirilmesini ve korunmasını da amaçlamakta ve bu amaçla henüz tasarım

aşamasındayken havalandırma, aydınlatma ve ısısal konfor gibi birbirleriyle çelişen ihtiyaçları sağlamak üzere çok işlevli bir eleman olarak düşünülmektedir [8, s.1039].

G. Battle, ve C. McCarthy, akıllı bir kabuğun; enerji akışını düzenlemek, doğal enerjiyi toplamak ve istenen yere dağıtmak, enerjiyi depolamak, iç ve dış iklim arasında bir dengeleyici olarak hizmet görmek zorunda olduğunu ifade etmektedirler [9, s.137].

M. Skelly, benzer bir anlayışla akıllı bir kabuğun iklim değişikliklerine bağlı olarak dış çevredeki enerjiyi almak ya da geri vermek üzere bir iklim dengeleyicisi olarak hareket edebildiğini ve böyle bir kabuğun farklı kullanıcı isteklerine cevap verebilmesi gerektiğini vurgulamaktadır [10, s.67-69].

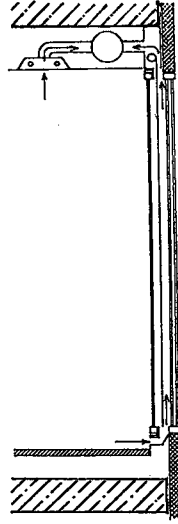
Kabuk tasarımında akıllı teknolojilerin kullanılması binaya ek bir maliyet getirmektedir. Ancak klima sistemlerini azaltması ve işletme saatlerini ayarlayabilmesi gibi faydaları, binanın başlangıç ve işletme maliyetini azaltmakta ve optimum koşulları sağlayarak üretkenliği arttırmaktadır. Böylelikle, mekanik tesisat için ayrılan bütçenin bir kısmı enerji etkin kabuk tasarımına yönlendirilebilmektedir [11, s.1338]. Artık hem yaz hem kış şartlarında istenen ısıtma ve soğutma isteklerine cevap verebilen hem de diğer mevsimlerde ısıtma ve soğutmanın bir arada istenebileceği düşünülerek yapılan iklimle dengeli cephe tasarımları kabul görmeye başlamaktadır.

2.4 İklimle Dengeli Cephe Tasarımları

Minimum enerji tüketimi ile iç mekanda optimum koşulların sağlanması düşüncesinden yola çıkılarak geliştirilen iklimle dengeli cephelerin ilk örnekleri; iç tarafa bir tek cam panelin, dış tarafa bir çift cam panelin yerleştirilmesi ve iki cam panel arasında iç ortamdaki mekanik tesisatla bağlantılı bir hava boşluğu bırakılması ile oluşturulmuşlardır (Şekil 2.1).

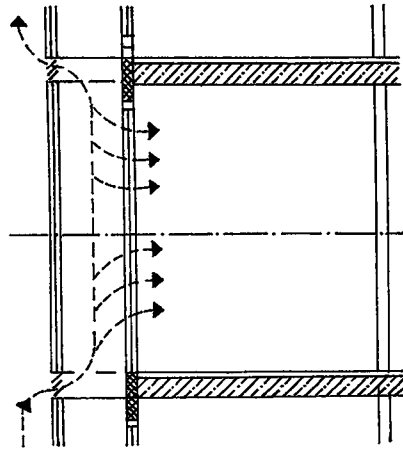
Boşluk içersine yerleştirilen cihazlar güneş kontrolüne imkan tanımakta, iç cam panel temizlik ya da bakım-onarım amaçlı olarak açılabilir. Ancak gerekli hava değişimini sağlamak için ilave enerji gerektirmesi ve mekan sıcaklığının kullanıcı tarafından ayarlanamaması olumsuz yönleridir. Bu cepheler, birbirinden

farklı iki cam kabuktan oluşmaları nedeniyle çift kabuk cam cepheler olarak adlandırılmaktadırlar.



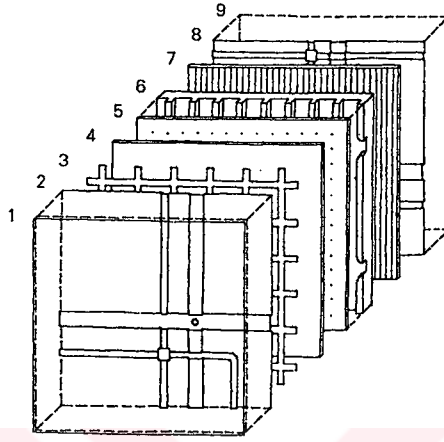
Şekil 2.1 İklimle dengeli cephe için bir örnek [12, s.90].

Çift kabuk cam cephelerin daha sonra geliştirilen örneklerinde, çift cam panel cephenin iç tarafına yerleştirilmiş ve gerektiğinde havalandırma amacıyla açılabilir şekilde düzenlenmiştir. Bu örneklerde aradaki hava boşluğunun genişliğinin arttığı ve öncekilerde olduğu gibi içteki mekanik tesisatla bağlantılı olmadığı görülmektedir (Şekil 2.2). Havalandırma doğal olarak sağlandığı için, mekanik tesisatın kullanımı ve buna bağlı olarak enerji tüketimi azalmaktadır. Geniş ara boşluk; güneş kontrol elemanlarının kullanımına, ve yüksek binalarda bile dışa pencere açılmasına imkan tanımaktadır [13, s.173-176].



Şekil 2.2 Çift kabuk cephe [14].

Bir diğerk iklimle dengeli cephe tasarımı ise, tüm kontrol imkanlarının birkaç tabakadan oluşan bir cam paket içerisinde toplandığı sıkıştırılmış cephelerdir (Şekil 2.3). İlk olarak Mike Davis tarafından tanımlanan bu cepheler; değişen iklim şartlarına göre rengini, ısısal ve optik özelliklerini değiştirebilen ve bu fonksiyonları gerçekleştirmek için gerekli olan enerjiyi üretebilen kontrol cihazlarına sahip çok tabakalı bileşenlerdir.



1. Dış cam kabuk
2. Dış algılayıcı tabaka
3. Foto elektrik ızgara
4. Seçici ısı emici tabaka
5. Elektrik enerjisi depolayan tabaka
6. Gazla doyurulmuş tabaka
7. Elektrik enerjisi depolayan tabaka
8. İç algılayıcı tabaka
9. İç cam kabuk

Şekil 2.3 Sıkıştırılmış cephe [15, s.57].

İklimle dengeli cephelerin en gelişmiş türü olarak kabul edilen akıllı cepheler ise, tıpkı diğerleri gibi, güneş ışıınımı, rüzgar ve sıcaklık gibi doğal enerji kaynaklarını kullanarak iklim değişikliklerine aktif olarak cevap vermek üzere tasarlanmış cephelerdir. Bu cephelerde, iklimi kontrol eden cihazlar bina otomasyon sistemi ile bütünleştirilmişlerdir.

Sonuç olarak, akıllı bir kabuk değişen dış iklim şartlarına göre hareket ederek; ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinden kaynaklanan enerji tüketiminin azaltılması ve optimum şartların sağlanması görevini üstlenmektedir. Bu görev; kabuğu statik, etkisiz bir eleman olmaktan çıkarak esnek, çevreyle dost ve dinamik bir örtü haline getirmektedir.

Bu çalışmada çift kabuk cam cephelerin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlandığından; bu sistemlerin özellikleri, olumlu ve olumsuz yönleri, uygulanmış örnekleri hakkında daha ayrıntılı olarak açıklama yapılması gerekli görülmektedir.

2.5 Çift Kabuk Cam Cepheler

Çift kabuk cam cepheler; akıllı bir kabuğun, kullanıcı ihtiyaçlarına cevap vermek üzere iç ve dış iklim arasında bir dengeleyici olarak hizmet görmesi gerekliliğinden yola çıkılarak tasarlanmışlardır. Adlarından da anlaşıldığı gibi, bu cepheler iki cam kabuk arasında bir boşluk bırakılması ile oluşmaktadırlar. Dış hava ile bağlantılı olarak tasarlanan bu boşluk; yazın güneş enerjisinden pasif ısı kazancı sağlayan, kışın ise ısı kayıplarını azaltan bir ara bölge olarak hizmet görmektedir. Dış iklim koşullarından korunmuş bu ara bölgeye yerleştirilen güneş kontrol elemanları ile, mevsime bağlı olarak güneş ışıınının denetlenmesi mümkün olmaktadır. İç kabuktaki pencereler açılarak, yazın bina doğal olarak havalandırılabilen ve geceyein soğutulabilmektedir [16, s.309].

2.5.1 Çift Kabuk Cam Cephelerin Özellikleri

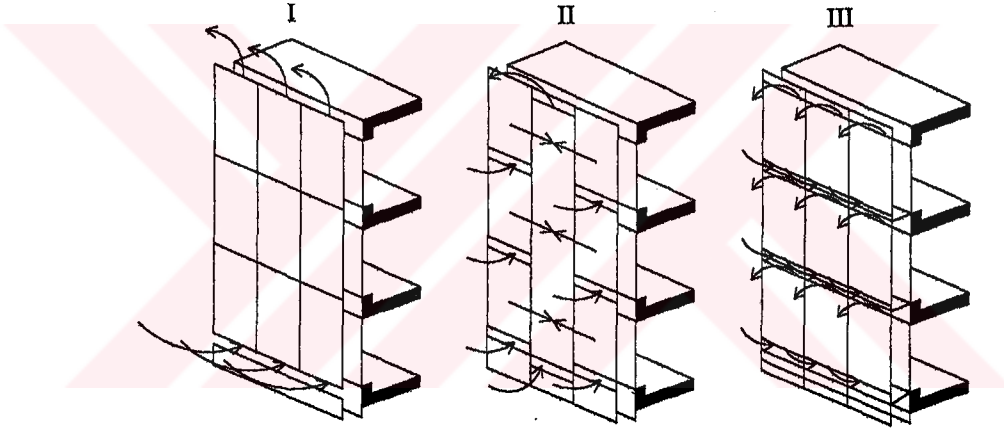
Çift kabuk cephe geleneksel cam cephelerden daha düşük bir ısı geçirme katsayısına sahiptir. Dolayısıyla soğuk dönemde binanın toplam ısıtma yükünü azaltmaktadır.

İkinci bir cam kabuğun eklenmesi ile rüzgar basıncının azalması, yüksek bir binanın en üst katında dahi pencere açılmasına ve binanın doğal olarak havalandırılmasına imkan tanımaktadır. Klima sistemlerinin kullanımı azaltan bu durum, binanın toplam yaşam maliyetinin ve enerji tüketiminin azalmasını sağlamaktadır [12, s.94]. Ancak, bazı uzmanlar bu tip binalarda yüksek rüzgar hızlarında içeriye doğru akımlar oluşabileceği ve iç kapıların açılmasında zorluklar çekilebileceği yönünde endişeler taşımaktadırlar. Essen'deki RWE kulesinin tasarımından sorumlu Dr. Heusler; araştırma sonuçlarına göre bir kapıyı açmak için geleneksel cephe 28m. yüksekliğindeki bir binada, 88m yüksekliğindeki çift kabuk cephe RWE kulesine nazaran %20 daha fazla kuvvet harcamak gerektiğini belirterek bu konuya açıklık kazandırmaktadır [17, s.102].

Çift camlı geleneksel bir duvar ısıyı yaymaktadır. Dolayısıyla kullanıcılar cama yakın olan bölgelerde çalışmayı konforsuz bulmakta ve masalarını sıklıkla buradan uzağa yerleştirmektedirler. Gent, yüksek performanslı bir çift kabuk cephe ile, iç panelin sıcaklığının ofis mekanının sıcaklığı ile benzer olacağını öne sürmektedir [18, s.44-47]. Nitekim hava akışının azaltılmış hızı ve boşluktaki havanın arttırılmış

sıcaklığı cam yüzeyindeki ısı transfer oranını düşürmekte ve böylelikle camın iç tarafındaki yüzey sıcaklığı daha yüksek olmaktadır. Bu durum, artan ısısal konfor şartlarının bir sonucu olarak pencere yakınındaki alanlardan daha fazla yararlanılmasını sağlamaktadır [19, s.25-27].

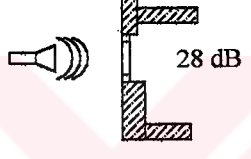
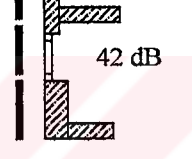
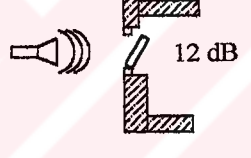
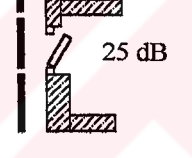
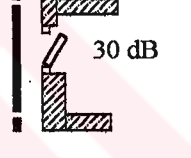
Çift kabuk cephelerde havalandırma Şekil 2.4'de görüldüğü gibi, hava akış biçimine bağlı olarak üç şekilde gerçekleşmektedir. Birincisi, hava akışının tüm cephe boyunca sağlandığı havalandırma şeklidir. Bu cephelerde; en alttaki açıklıktan boşluğa giren taze hava, en üstteki açıklıktan dışarıya çıkmaktadır. İkincisi, havanın her kat seviyesindeki açıklıklardan boşluğa alındığı ve yine en üstten dışarıya verildiği havalandırma şeklidir. Üçüncüsü ise; havanın her kat seviyesinde alttan içeriye alınıp üstten dışarıya verildiği havalandırma şeklidir. Her üç sistemde de, dış kabuktaki açıklıklar, sıcak dönemlerde soğutma amacıyla gece boyunca açık bırakılabilmektedirler.



Şekil 2.4 Çift kabuk cephelerde havalandırma biçimleri [20, s.126].

Ara boşluk içersine yerleştirilen güneş kontrol elemanları güneş ışıının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadırlar. Güneş ışıını kazancını azaltmak için yaygın olarak kullanılan diğer yollar; sabit dış gölgeleme elemanlarının, iç perdelerin ya da geliştirilmiş camların kullanılmasıdır [21, s.77]. Bunlar yardımıyla geri yansıtılan güneş ışıını, ara boşluk içerisinde yayılmakta ve ısınmış havanın yukarıya doğru yükselmesine neden olmaktadır. Bilgisayar simülasyonları ve testler, doğal hava akışı ile güneş ışıınından kaynaklanan ısıının %25'inin yükseldiğini göstermiştir [12, s.94].

Isısal etkinlikte oynadığı etkiye ilave olarak, ara boşluk kabuğun ses yalıtımını da olumlu yönde etkilemektedir. Şekil 2.5 Stuttgart Löwentorzentrüm büro binasının çift kabuk cephesindeki havalandırma açıklıklarının iki farklı düzenlenme biçimi için, kanatların açık ve kapalı olması halinde ses yalıtımı değerlerindeki değişiklikleri bir tek kabuk cephe ile karşılaştırmaktadır. Buna göre; düzenlenme biçimi nasıl olursa olsun, çift kabuk cephelerde tek kabuk cephelere göre daha fazla bir geçirimsizlik sağlandığı ve havalandırma açıklıklarının kat seviyelerinde düzenlenmesi halinde ses yalıtımı açısından en etkin sonucun elde edildiği görülmektedir.

TEK KABUK	ÇİFT KABUK	ÇİFT KABUK
	Açıklıkların pencere yüksekliğinde düzenlendiği durum	Açıklıkların kat yüksekliğinde düzenlendiği durum
 28 dB	 42 dB	 47 dB
 12 dB	 25 dB	 30 dB

Şekil 2.5 Stuttgart'taki bir ofis binası cephesinin ses yalıtımı değerleri [20, s.132].

İçe açılan kanatların açık olması halinde sesin mekanlar arasında dağılmasını önlemek için, boşluk içersine yatay ya da dikey bölmeler yerleştirilmektedir. Bu uygulama; yangın çıkması halinde dumanın yayılmasını da geciktirmektedir. Boşluğun yatay olarak bölünmesi, ses yalıtımı ve dumanın dağılmaması açısından daha olumludur. Ancak doğal havalandırma açısından dikey bölmeli olanlar daha etkindirler [13, s.180].

2.5.2 Çift Kabuk Cam Cephelerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Evans, çift kabuk cephelerin yukarıda bahsedilen olumlu yönlerini şu şekilde özetlemektedir [22, s.45]:

- Bir çift kabuk cephede ısı kayıpları minimumdur.
- Cam iç yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığına yakın olduğu için pencereye yakın alandan daha fazla yararlanılabilmektedir.
- Sistem yüksek binalarda bile pencere açılmasına imkan tanımaktadır.
- Havalandırma ile sağlanan iç ortamdaki taze hava; klima sistemlerindeki maliyetin ve enerji tüketiminin azalmasına neden olmaktadır.
- Boşluktaki hava akışı, dış kabuğun yoğuşma riskini yok etmektedir.
- Çift kabuk cepheler ile çevreyle dost, enerji etkin, sürdürülebilir, yüksek bir teknoloji yaratmak mümkündür.
- Ara boşluk; temizlik, bakım ve onarıma yardımcı olmaktadır.

Lieb ve Oesterle, çift kabuk cephelerin olumlu yönleri yanında olumsuz yönlerini de ortaya koymaktadırlar [23, s.330]:

Olumlu yönleri:

- Cephenin özel camlama yapılmaksızın iyi bir ses izolasyonu sağlaması,
- Isıtma amacıyla harcanan enerji kullanımını minimuma indirmesi,
- Yazın iç cepheler açık bırakıldığında bina kütesini soğutmak üzere gece havalandırmasına imkan tanınması,
- Güneş kontrol cihazlarının ve odaların rüzgardan korunması (özellikle fırtınalı bölgelerde ve yüksek binalarda).

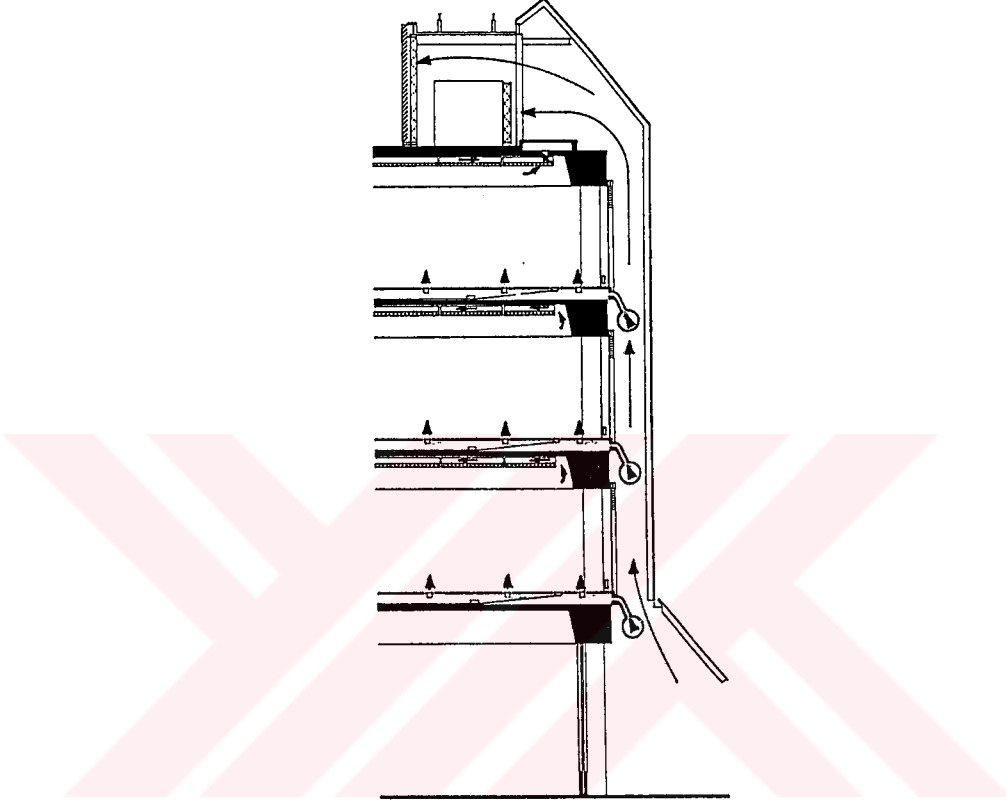
Olumsuz yönleri:

- Çift cephe boşluğunda -eğer bölünmediyse- sesin mekanlar arasında dağılması,
- Cam alanının artması ve boşluktaki ısısal yükselme nedeniyle yazın daha fazla soğutma yükü gerektirmesi,
- Sadece doğal havalandırma ile sağlanan havalandırmanın yetersiz olma tehlikesi,

2.5.3 Çift Kabuk Cam Cephe Uygulamaları

1984'de İngiltere'de Arup şirketi tarafından inşa edilen 'Briarcliff Evi' çift kabuk cam cephelerin ilk örneklerinden birisidir (Şekil 2.6). Cephe iki fonksiyonu yerine getirmektedir. Bunlardan birincisi trafik ve uçaklardan gelen gürültüye karşı bir ses

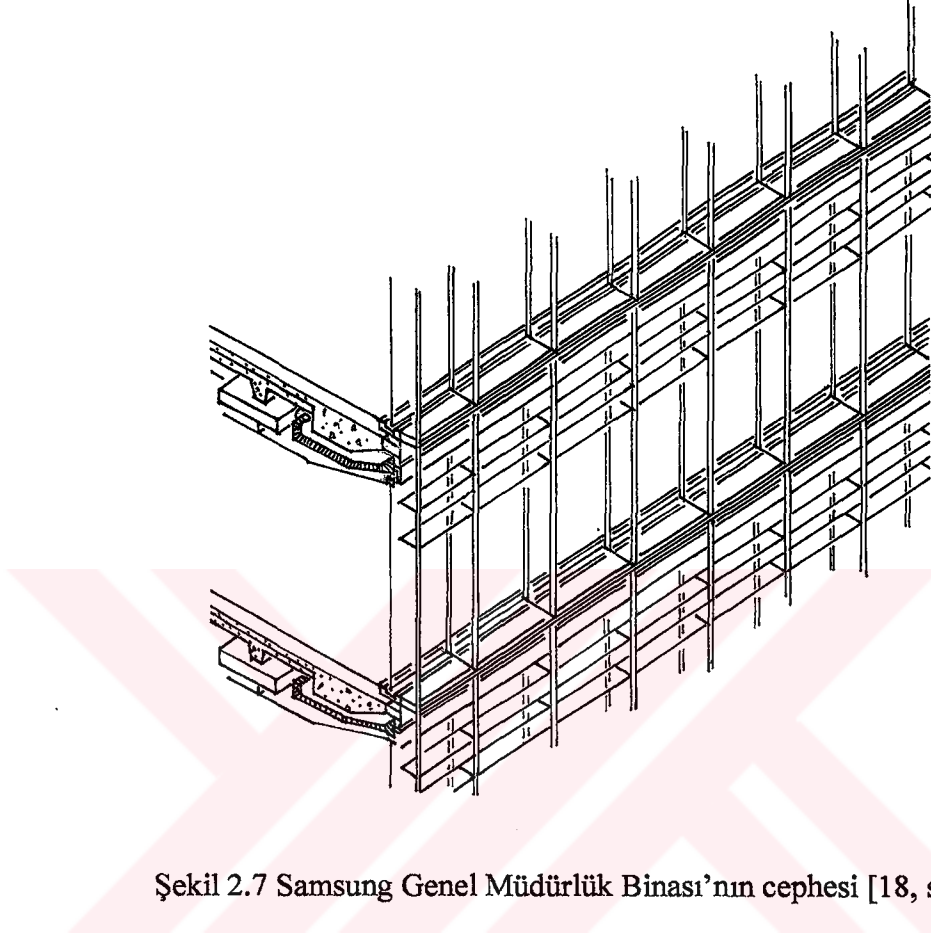
izolasyonu olarak hizmet görmesi, ikincisi halihazırda odalarında ısı üreten cihazlar (bilgisayarlar gibi) bulunan ofisler için gölgeleme görevi yapmasıdır. Dış cephe gerçek binadan 120 cm. önde yerleşmiş 10 mm.lik bir cam paneldir. İç cephe metal panellerden, sabit izolasyonlu cam pencerelerden ve ısısal değişiklikleri algılayabilen perdelerden oluşmaktadır. Geniş ara boşluk temizliğe yardımcı olmakta ve havalandırma borularını barındırmaktadır.



Şekil 2.6 Briarcliff evi çift kabuk cam cephesinin kesiti [24, s.1484].

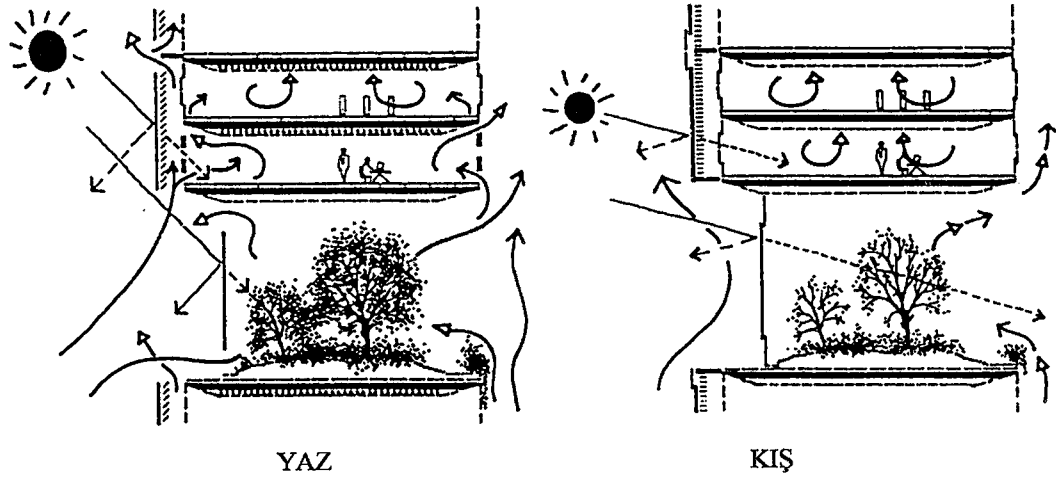
Mimar Terry Farrel & Ortakları ve WSP Danışman Mühendisleri; Londra'da Samsung'un yeni Genel Müdürlük Binası için dış tarafta çift camlamanın olduğu bir çift kabuk tasarlamışlardır. Cephenin dış kabuğu, 4.3 m. yüksekliğinde ve 1.5 m. genişliğinde camlı prefabrike paneller ile oluşturulmuştur. Bu paneller kuru contalar ve silikon macunlarla birbirlerine tutturulacak şekilde tasarlanarak; inşaat süresinin azaltılması ve yüksek bir kalite sağlanması amaçlanmıştır. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi; 600 mm. derinliğindeki bir boşluk, tek camlı bir iç kabuktan çift camlı bir dış kabuğu ayırmaktadır. Güneş ışıının ve parlaklığının azaltılması, güneş kontrol camları ve boşluğa yerleştirilmiş bina kontrol sistemine bağlı metal güneş perdeleri ile sağlanmaktadır. Tavan boşluklarındaki havalandırma boruları her prefabrike panelin üstündeki boşluğa bağlanmıştır. Bu boru sistemi; boşluktaki sıcak havanın

daha soğuk olan oda havası ile yer değiştirmesini sağlamaktadır. Terry Farrel'in yardımcısı Gent, bu cephenin soğutma yüklerini %50'ye kadar azaltacağını iddia etmektedir [18, s.46].



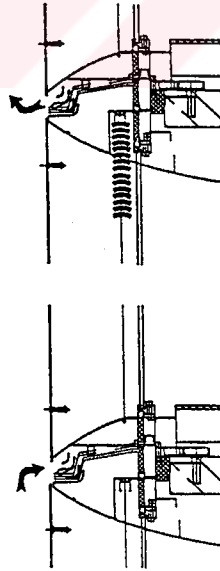
Şekil 2.7 Samsung Genel Müdürlük Binası'nın cephesi [18, s.45].

Normen Foster ve arkadaşları tarafından tasarlanarak, 1991'de Frankfurt'ta inşa edilen Commerzbank isimli banka binasında da; enerji etkin, çevreyle uyumlu bir bina yaratma düşüncesi vardır. Yıl içinde uzun bir dönem binanın doğal olarak havalandırılması amaçlanmıştır. Çünkü ara boşluktaki sıcaklık farklılıkları ve genel rüzgar şartları, hava akışını sağlayan basınçları yaratabilmektedirler. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi; yazın dışa bakan cepheleri doğal olarak havalandırmak için, iç kabuktaki pencerelerin açılabilirdiği bir çift kabuk cephe tasarlanmış ve ısı geçirme katsayısı $1.4 - 1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan izolasyonlu cam birimi kullanılmıştır. Ayrıca boşluk içerisine direkt gün ışığına ve parlamaya karşı ayarlanabilir perdeler yerleştirilmiştir. Bu perdeler, kışın sıcaklık düştüğünde bir tampon bölge oluşturmak amacıyla kapatılmaktadırlar [16, s.309].



Şekil 2.8 Commerzbank binasında yaz-kış durumu [12, s.102].

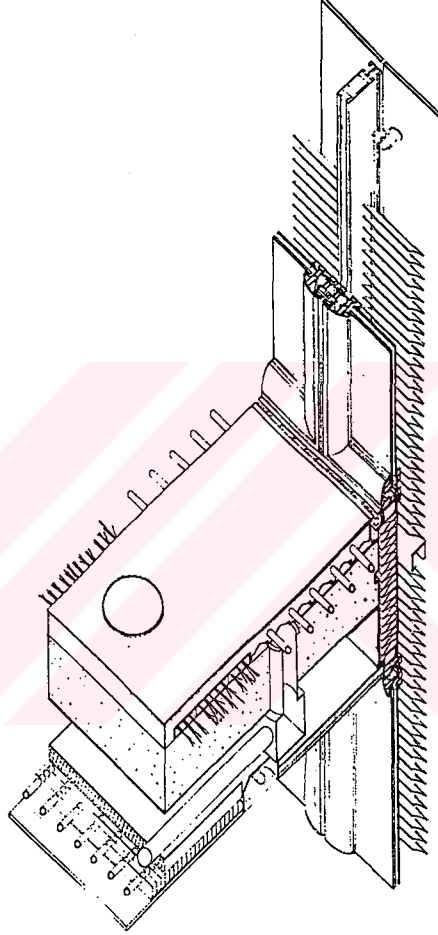
Mimar Ingenhoven Overdiek Kahlen ve ortakları (IOK) tarafından RWE AG ve Ruhrkohle AG Essen için planlanan ve 1991'de inşa edilen Genel Müdürlük Binası'nın cephesi de enerji biriktirmek amacıyla çift kabuklu bir cam cephe olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.9). IOK, bu cephe ile HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning) enerjisinden %22 kadar tasarruf sağlanabileceğini tahmin etmektedir [22, s.42-45]. 50 cm. genişliğindeki cephe boşluğu; yangın, güvenlik ve ses izolasyonu sağlamak amacıyla yatay ve düşey elemanlarla bölünmüştür. Ofislerin doğal olarak havalandırılmasını sağlamak için kayan kapılar planlanmıştır, [17, s.99].



Şekil 2.9 RWE AG Genel Müdürlük Binası'nın cephe kesiti [25, s.3].

Doğal havalandırmalı çift cam kabuğun diğer bir örneği Norman Foster ve ortakları tarafından 1993'de Duisburg'da inşa edilen İş Merkezi'dir. Lens şeklindeki binanın

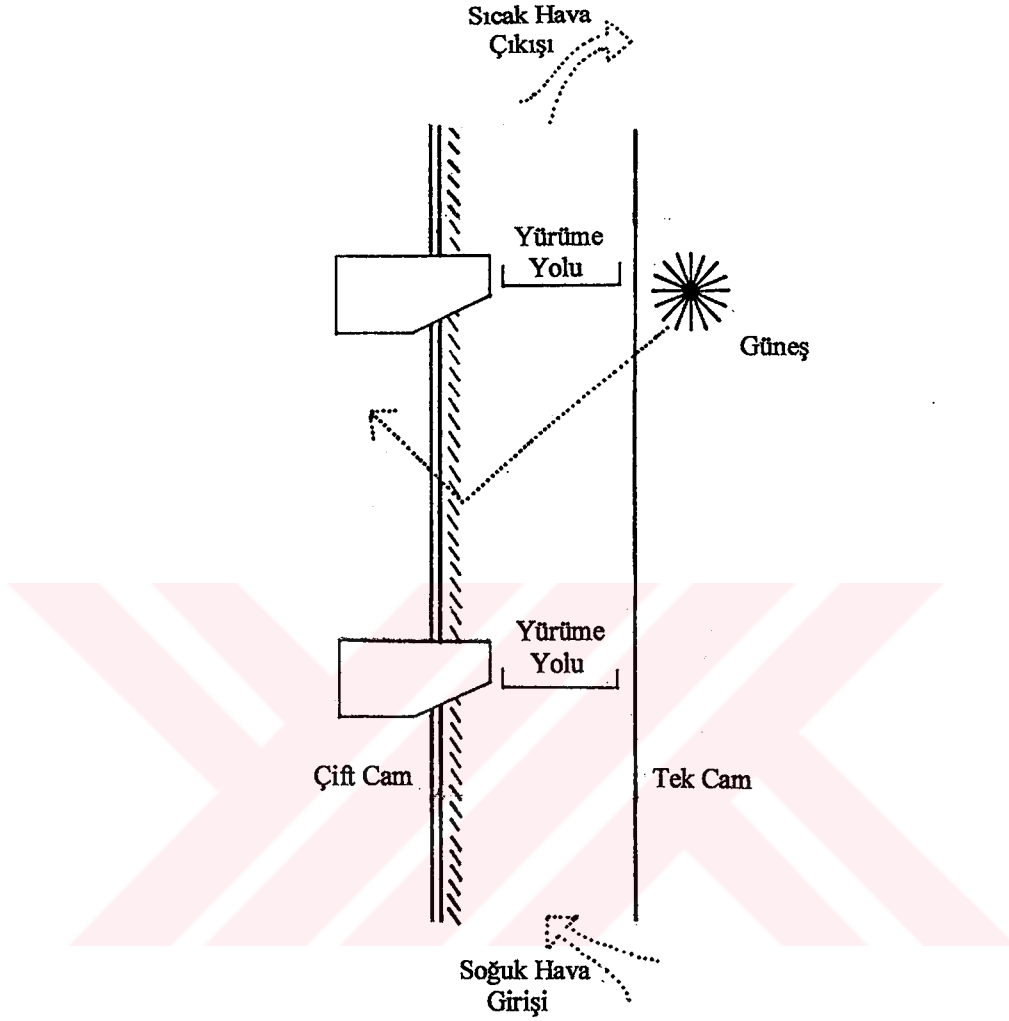
eğri çift kabuk cephesi; izolasyonlu bir cam kabuktan ve 20 cm. önünde bir tek cam kabuktan oluşmaktadır (Şekil 2.10). 1.50 x 3.30 m. boyutlu bu camlar, dikey alüminyum profillere asılmışlardır. Dış kabukta 6mm'lik float cam, iç kabukta ise low-E örtülü 8 mm.'lik lamine cam kullanılmış ve ikisi arasındaki boşluk argon gazı ile doldurulmuştur. Tüm kabuğun ısı geçirme katsayısı $1.4 \text{ W / m}^2\text{K}$ kadardır. İki kabuk arasındaki boşluğa bilgisayar kontrollü alüminyum perdeler entegre edilmişlerdir [12, s.97].



Şekil 2.10 Duisburg'daki İş Merkezi'nin cephe kesiti [12, s.97].

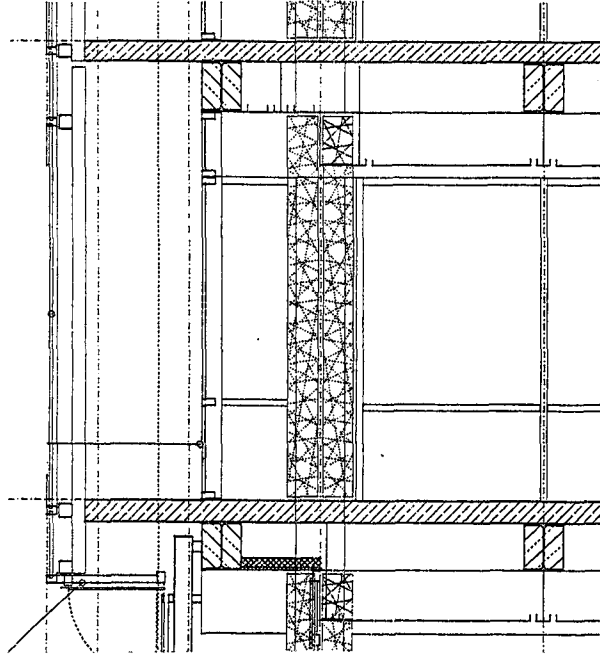
Mimar HOK ve mühendis Buro Happold tarafından tasarlanan Spirit Binası'nda, iç tarafta çift camın olduğu bir çift kabuk cephe bulunmaktadır. Cephe Buro Happold Mühendislik Departmanı tarafından tasarlanmış özel bir bağlantı yoluyla binadan uzağa asılmış tek camlı bir dış kabuğa sahiptir (Şekil 2.11). 900mm.'lik bir boşluk çift camlı iç kabuktan bu dış kabuğu ayırmaktadır. Hava boşluğu iki bölüme ayrılmaktadır: 600mm.'lik dış alan bakım için yürüme yolu olarak ayrılmışken, 300mm.'lik iç alan tavana güneş ışığını yansıtan metal perdeleri barındırmaktadır.

Parkes, % 40'ı çift camla kaplanmış ısı geçirme katsayısı $0.6 \text{ W} / \text{m}^2\text{°C}$ olan bir tuğla cephe ile karşılaştırıldığında; bu cephenin bir yıl içinde yükleri % 5'e kadar azaltılabileceğini düşünmektedir [18, s.44-47].



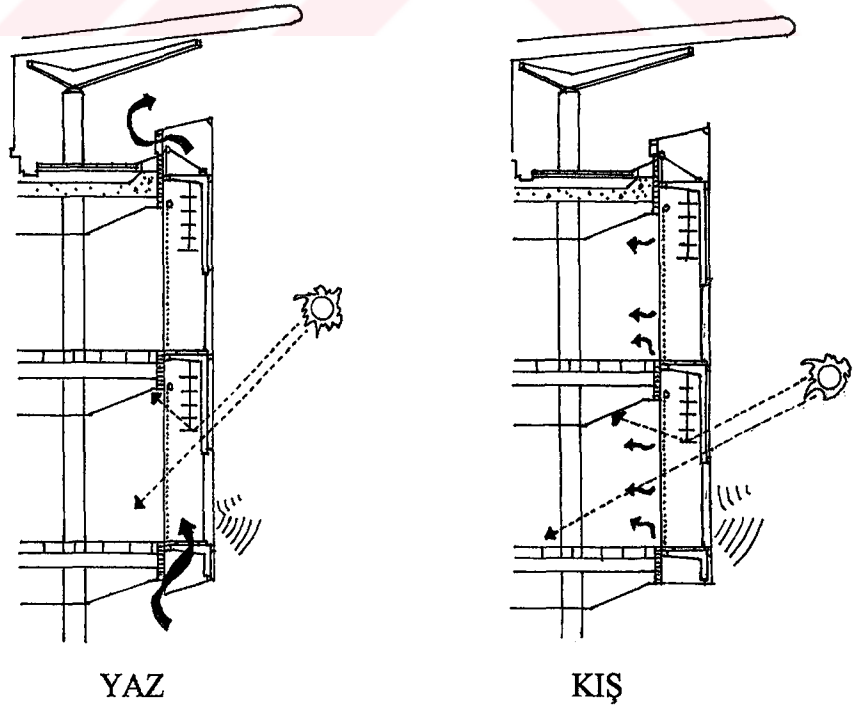
Şekil 2.11 Spirit binası çift kabuk cephesinin kesiti [18, s.47].

Mimar Samyn ve arkadaşları tarafından tasarlanarak 1993'te yapımı tamamlanan Belçika'daki ofis binası da, çift kabuklu bir cepheye sahiptir. 'Brussimmo Evi' olarak bilinen binanın cephesi; Şekil 2.12'de görüldüğü gibi çift camlı bir dış kabuğa, tek camlı bir iç kabuğa ve her ikisi arasında yer alan 900 mm.lik bir ara boşluğa sahiptir. Zeminden tavana kadar sadece cam kullanılmasına rağmen; ara boşluk sayesinde doğal aydınlatma, ısı ve ses izolasyonu optimum düzeyde sağlanmaktadır. Ayrıca boşluğa güneş kontrolü sağlamak amacıyla yükseklikleri ayarlanabilen perdeler yerleştirilmektedir [26, s.12].



Şekil 2.12 Belçika'daki bir ofis binası cephesinin kesiti [26, s.12].

1997'de tamamlanan Greenford'daki Glaxo Wellcome Genel Müdürlük Binası çift kabuk cephe uygulamasının en son örneklerinden birisidir. Şekil 2.13'de görüldüğü gibi cephenin altındaki ve üstündeki hava giriş - çıkışını sağlayan kapakçıklar, kışın kapalı tutulup yazın boşluğu havalandırmak ve soğutmak amacıyla açılmaktadırlar [27, s.37].



Şekil 2.13 Glaxo Wellcome Genel Müdürlük Binası'nın cephe kesiti [27, s.38].

2.5.4 Çift Kabuk Cam Cepheyi Oluşturan Bileşenler

Çift kabuk cam cepheyi oluşturan bileşenler, yukarıda yapılan açıklamalar doğrultusunda;

Saydam Paneller
Opak Paneller
Taşıyıcı Bileşenler
Tespit Bileşenleri
Havalandırma Boşluğu
Güneş Kontrol Elemanları
Yürüme Yolu

olarak sıralanabilmektedir.

2.5.4.1 Saydam Paneller

İç ya da dış kabukta kullanılan saydam paneller, tek cam plak ya da çift cam üniteleridir. Çift cam kabuk ister tek isterse çift cam panellerle oluşturulsun, dış etmenler nedeniyle oluşan ısı kaybı ve kazançlarını kontrol etmek zorundadır. Söz konusu denetim, farklı tipte camların kullanılması ve panel boyutlarının cephedeki derz uzunluğunu azaltacak şekilde seçilmeleri ile mümkün olmaktadır [28, s.2].

Cam Tipleri

Günümüzde cam endüstrisi alanında gerçekleşen gelişmelerle birlikte, dış etmenlere karşı cam kabuğun kendinden beklenen performansı sağlayabilmesine imkan tanıyan çok sayıda cam tipi ortaya çıkmıştır. Cam cephelerde kullanılan ve tek plaka ya da çift cam üniteleri şeklinde ülkemizde de üretilmekte olan bu camlar; berrak (clear) camlar, renkli (tinted) camlar, güneş kontrol camları (reflective), düşük yayımlı (low-E) camlar ve temperlenmiş camlardır.

Berrak cam, renksiz cam hamurunun erimiş kalay üzerinde yüzdürülmesi ile oluşmaktadır. Diğer cam tiplerinin üretiminde ana üründür [29, s.10].

Renkli camlar, cam hamuruna renk verici maddelerin katılması ile oluşturulmaktadır. Bronz, gri, mavi ve yeşil renkte üretilen bu camlar, güneş enerjisi kazancını kontrol etmektedirler [30].

Güneş kontrol camları, cam yüzeyindeki ince metal ya da metal oksit kaplamalar yardımı ile güneş enerjisinin çoğunu geri yansıtmaktadırlar. Cam ısındığında iç mekana giden ısı miktarını azaltmak amacıyla; yansıtıcı tabaka tek cam plakada iç yüzeye, çift cam biriminde ise dış tabakanın iç yüzeyine uygulanmaktadır [31, s.4].

Düşük yayınlı (low-E) camlar, ince bir metal oksit kaplamanın çift cam biriminin dış tabakasının iç yüzeyine ya da iç tabakanın dış yüzeyine uygulanması ile elde edilmektedirler. Low-E kaplamalar kısa dalga ışıının büyük bölümünü içeri geçirirken, uzun dalga ışıını camdan dışarı çıkışı engelleyerek kaynağına (iç mekandaki radyatör ve benzeri ısıtıcılar, aydınlatma cihazları, insan vücudu gibi) geri yansıtırlar. Sonuç olarak, çift cam biriminin ısı geçirgenlik direnci artmakta ve iç mekandan dışarıya enerji kaybı azalmaktadır [31, s.5; 32, s.47].

Temperlenmiş camlar, darbe, basınç ve ısı şoklara karşı mukavemetini arttırmak amacıyla camın önce ısıtılıp ardından hızla soğutulması yoluyla elde edilmektedirler.

Bu camların dışında, yeni malzeme ve uygulama teknolojilerin gelişmesi sonucu değişen dış şartlara göre optik özelliklerini değiştirebilen akıllı cam tipleri de ortaya çıkmıştır. Bunlar ışıığa ve ısıya karşı duyarlı olan camlardır. Işığa karşı duyarlı olanlar tiplerde, camlar fotokromik (photo chromic) malzemelerin, ısıya karşı duyarlı olanlarda ise termokromik ya da termotropik (thermochromic ya da thermotropic) malzemelerin katkısı ile oluşturulmaktadır [33, s.27].

Panel Boyutları

Ülkemizde cam cephede kullanılmak üzere üretilen cam paneller, minimum 180x350 mm., maksimum 2300x3000 mm boyutlarında üretilebilmektedirler [29, s.16].

2.5.4.2 Opak Paneller

Kat seviyelerinde bina taşıyıcı sistemini gizlemek amacıyla kullanılmaktadırlar. Genel olarak, iç tarafta bir galvanizli levhanın dışta bir tek cam tabakanın, ortada da ısı yalıtım levhasının kullanılması ile oluşturulan bir ünitedir. Ülkemizde kullanılan yalıtım levhaları; genişletilmiş polistren levhalar, poliüretan sert köpük levhalar ve cam yünü levhalardır.

2.5.4.3 Taşıyıcı Bileşenler

Taşıyıcı bileşenler; cam cephenin ana taşıyıcı sisteme taşınmasını sağlayan yatay ve düşey çubuklardan oluşan bir ızgara sistemidir. Bu ızgara, kimi zaman şantiyede kimi zaman da fabrikada cam paneller ile birlikte oluşturularak bütün halinde yerine yerleştirilmektedir. Bu açıdan cam cepheler; çubuk sistem, panel sistem ve yarı panel sistem olmak üzere üç şekilde oluşturulmaktadır [34, s.10; 35, s.11-21]:

Çubuk sistem, dikey ve yatay çubukların şantiyede taşıyıcı sisteme ankre edilmesi ile oluşan ızgaraya cam panellerin yerleştirildiği sistemdir.

Yarı panel sistem, çevresinde bir çerçeve profili olan cam panellerin şantiyede kurulmuş taşıyıcı ızgaraya yerleştirildiği sistemdir.

Panel sistem; cam panellerin taşıyıcı ızgara görevi gören bir çerçeve ile fabrikada bütün halinde üretilip cepheye bitmiş durumda yerleştirildiği sistemdir.

2.5.4.4 Tespit Bileşenleri

Tespit bileşenleri; taşıyıcı ızgaranın bina taşıyıcısına, saydam ve opak panelin taşıyıcı ızgaraya ve taşıyıcı ızgarayı oluşturan yatay ve düşey çubukların birbirlerine birleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar.

Izgaranın ana taşıyıcıya tespitinde kullanılan bileşenler; ankraj profilleri, baskı profilleri, kenetler, perçin, vida, dübel ve civatalardır. Bu bileşenler, paslanmaz çelik ya da alüminyum alaşımlarından üretilmektedirler. Saydam ve opak panelin taşıyıcıyı ızgaraya tespitinde kullanılan tespit bileşenleri ise, sızdırmazlık sağlanması amacıyla kullanılan macun ve contalardır. *Macunlar*; panellerin taşıyıcı ızgaraya yerleştirilmesini, bağlantılardaki sızdırmazlığı ve rüzgar yüklerinin taşıyıcı ızgaraya iletilmesini sağlarlar. Macun malzemesi olarak polisülfat, poliüretan ve silikon kullanılmaktadır [36, s.134]. *Contalar*; bağlantılardaki sızdırmazlığın sağlanmasında ve panellerin taşıyıcı ızgaraya birleştirilmesinde kullanılmaktadırlar. Bu malzemeler; silikonun renk değiştirmesini ve güneş ışınımı etkisinde yapışma niteliğini yitirmesini önlemek amacıyla silikonla uyumlu olan silikon kauçuk ya da bütül kauçuktan yapılmalıdırlar [37, s.465].

2.5.4.5 Havalandırma Boşluğu

Çift cam kabuğun havalandırılması, temizlenebilmesi ve güneş kontrol elemanlarının yerleştirilmesine imkan tanıyan bir boşluktur. Yapılmış uygulamalar incelendiğinde, boşluğun genişliğinin 200 mm' den 1500 mm' ye kadar değişebildiği görülmüştür. Boşluktaki havalandırma; cephenin altında ve üstünde açıklıklar yaratılarak, alttaki açıklıktan daha soğuk taze hava girerken sıcak olan havanın doğal olarak yükselerek üstteki açıklıktan dışarıya çıkması ile doğal olarak sağlanmaktadır. Yüksekliği fazla olan binalarda, ilave olarak dış kabukta kat seviyelerinde dışa açılan hava kapakçıkları da yapılmaktadır.

2.5.4.6 Güneş Kontrol Elemanları

Çift kabuk cam cephenin güneş enerjisi kazancını azaltmak amacıyla boşluk içerisine yerleştirilen güneş kontrol elemanları; sabit olabildikleri gibi elle kumanda edilebilen, bina otomasyon sistemine bağlı hareketli tipleri de vardır. Bu elemanların, açık ya da kapalı olmalarına bağlı olarak güneş ışıınımını iç ortama geçirme oranları pencere sisteminin toplam ısısal performansını etkilemektedir. Cephenin kullanım sürecinde boşluk içerisinde gerçekleştirilecek temizlik, bakım ve onarıma imkan tanımak için, genel olarak iç ya da dış cam kabuğa yakın olarak yerleştirilmektedirler. Genellikle alüminyumdan yapılmalarına rağmen, ahşap ya da cam malzemeden de üretilebilmektedirler.

2.5.4.7 Yürüme Yolu

Büyük cam yüzeylerin temizlenmesine ve güneş kontrol elemanlarının boşluk içerisine monte edilmesine imkan tanımaktadırlar. Çelik ya da ahşap paneller ile oluşturulan bu yolun genişliği boşluğun boyutlarına bağlıdır. Binanın taşıyıcı sistemine tespit edilmektedirler.

2.6 Sonuç

Bu bölümde; iklimle dengeli bir tasarım anlayışı ile enerji kaynaklarının minimum ölçüde kullanımına, doğal havalandırmaya, doğal aydınlatmaya, kullanıcı tarafından güneş kontrolünün yapılmasına ve klima sistemlerinin kullanımının azaldığı konforlu ortamlar oluşturulmasına imkan tanıyan çift kabuk cam cephelerin ortaya çıkış

süreci, özellikleri, uygulanmış örnekleri ve cepheyi oluşturan bileşenlere ilişkin bilgi verilmektedir.

Tezde; çift kabuk cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla altıncı bölümde önerilen yaklaşımda; kabuk seçenekleri bu bölümde belirlenen bileşenlere göre oluşturulmaktadır (Bakınız Bölüm 6.2.1.8).



3. CAM CEPHENİN ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİĞİNE ETKİ EDEN ETMENLER, PERFORMANS GEREKSİNİMLERİ, ÖZELLİKLERİ VE ÖLÇÜTLERİ

Çift kabuk cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilebilmesi için, öncelikle cam cepheye etki eden etmenlerin, cam cepheden beklenen performans gereksinimlerinin, amaçlanan etkinliğin ölçülmesinde kullanılabilecek performans özelliklerinin ve ölçütlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

3.1 Cam Cephenin Enerji ve Ekonomik Etkinliğine Etki Eden Etmenler

Cam cephelerin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilebilmesi, öncelikle cepheye etki eden çevresel etmenlerin belirlenmesi ile mümkün olmaktadır.

Çevresel etmenler ‘Yapı Üretim Sistemi’nin çevresini oluşturan içsel ve dışsal çevreye göre; ‘kullanıcıya bağlı etmenler, doğal ve yapay çevreye bağlı etmenler, siyasa, yasalara ve kurumlara bağlı etmenler, kaynak sistemine bağlı etmenler ve finansman sistemine bağlı etmenler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu etmenlerin tümüne bağlı olarak belirlenen performans gereksinimleri yapı üretiminin her düzeyine (yapı grubu, yapı, mekan, yapı parçası, yapı elemanı, ürün, malzeme, iç strüktür vb.) uygulanabilmektedir [38, s.238]. Tezde cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlandığından, doğal ve yapay çevreye bağlı etmenler ile ekonomik etmenler öncelikli etmenler olarak ele alınmaktadır.

3.1.1 Doğal ve Yapay Çevreye Bağlı Etmenler

Doğal ve yapay çevreye bağlı etmenler, cephenin enerji etkinliğine etki eden öncelikli etmenlerdir. Bu etmenleri; dış ve iç etmenler olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür.

3.1.1.1 Dış Etmenler

İç iklim konforuna etki eden dış etmenler; dış iklim ve yapay çevre değişkenleridir. Enerji etkin tasarımların geliştirilmesi amacıyla, bu etmenlere ilişkin değerlerin bilinmesi ve gerektiğinde denetlenmesi gerekmektedir.

Dış İklim Değişkenleri

Dış iklim değişkenleri; dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, rüzgar, güneş ışıınımı ve yağış olarak sıralanmaktadır. Meteoroloji istasyonlarında saatlik ya da günlük olarak yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçların yayınlandığı meteoroloji bültenlerinden, bu etmenlere ilişkin değerlere ulaşılabilir [39].

Dış Hava Sıcaklığı

Dış hava sıcaklığı, dış atmosfer şartlarına bağlı olarak değişen bir sıcaklıktır. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de dış hava sıcaklıkları meteoroloji istasyonlarında kuru termometre ile birer saatlik aralıklarla ölçülmekte ve günün 7., 14. ve 21. saatlerindeki aylık ortalama değerler meteoroloji bültenlerinde yayınlanmaktadır.

Dış hava sıcaklığı, soğuk ve sıcak dönemde ısıtma ve soğutma yüklerinin belirlenmesinde etkili olduğu için, cephenin enerji etkinliğinin değerlendirilmesinde önemli bir etmendir.

Dış Hava Nemliliği

Dış hava yeryüzündeki çeşitli kaynakların etkisi ile içerisinde belli bir miktar su buharı barındırmaktadır. Hava içerisinde bulunan su buharının miktarı, havanın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Hava sıcaklığı arttıkça taşıdığı nem miktarı da artmaktadır. Nemlilik; mutlak nem, gerçek buhar basıncı ve bağıl nem gibi kavramlarla ifade edilmektedir [40, s.13].

Türkiye’de çeşitli meteoroloji istasyonlarında, bağıl nem oranı değerleri her gün 7.00, 14.00 ve 21.00’ de ölçülmekte ve aylık ortalama değerler haline getirilerek meteoroloji bültenlerinde yayınlanmaktadır.

Rüzgar

Rüzgar atmosferdeki sıcaklık ve basınç farklılaşmasından kaynaklanan bir dış etmendir. Rüzgarın bina yüzeyinde oluşturduğu basıncın büyüklüğü rüzgar hızına bağlıdır. Coğrafi konum, rakım, yön, mevsimsel farklar, zemin sürtünme etkisi, bina yüksekliği, bina boyutları ve topografya rüzgar hızını etkileyen faktörlerdir [41, s.35].

Türkiye'deki meteoroloji istasyonlarında, rüzgar yönüne ve hızına ilişkin değerler günlük olarak saat 7.00, 14.00 ve 21.00'de ölçülmektedir.

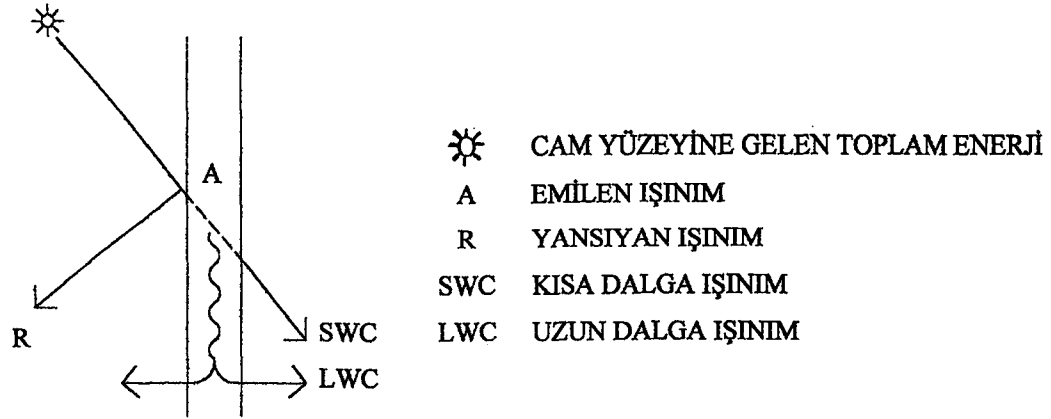
Rüzgar çarptığı yüzeyde bir basınç farkı yaratarak taşınım yoluyla ısı kayıplarını arttırdığı için, enerji etkinliğin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken etmenlerden birisidir.

Güneş Işınımı

Yeryüzünü etkileyen güneş ışınımı, kısa dalga güneş ışınımı ve uzun dalga ısı ışınım olmak üzere iki türdür. Kısa dalga ışınımı; güneşten kaynaklanan ve dalga boyu 0.3µm ile 3 µm arasında değişen ışıındır. Direkt, yaygın ve yansımış ışınım olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Sıcaklığı çevre sıcaklığına yakın olan ısı kaynaklarından kaynaklanan uzun dalga ışınım ise, dalga boyu 3 µm den daha büyük olan ışıındır [42, s.28].

Bina yüzeyine ulaşan toplam güneş ışınımı, çarptığı yüzeyin özelliklerine bağlı olarak farklı şekillerde hareket etmektedir. Opak bir yüzeyde; ışınımın bir kısmı emilerek ısıya dönüştürülmekte, geri kalanı yansıtılmaktadır. Emilen enerjinin de bir kısmı duvar içersine yayılmakta kalanı taşınım yoluyla ya da uzun dalga ışınımı olarak dışarıya geri gönderilmektedir. Bu durumda güneş ışınımı kazancı; gelen ışınımın miktarına, geliş açısına, opak yüzeyi oluşturan malzemenin emme kapasitesine ve pürüzlülüğüne bağlı olarak değişim göstermektedir [43, s.53]. Saydam bir yüzey söz konusu ise; Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, ışınımın bir kısmı doğrudan içeriye iletilmekte (kısa dalga ışınımı), bir kısmı yüzey tarafından emilmekte, bir kısmı da geri yansıtılmaktadır. Emilen ışınım; taşınım ve uzun dalga ışınımı yoluyla yeniden içeriye ve dışarıya yollanmaktadır [44, s.155]. Güneş ışınımı

kazancı; güneş ışınlarının geliş açısına, güneş ışınmı miktarına, camın rengine ve yüzey alanına bağlıdır.



Şekil 3.1 Cam yüzeyde güneş ışınmının dağılımı [44, s.155].

Güneş ışınmı miktarı, binanın bulunduğu bölgenin enlemine, denizden yüksekliğine, meteorolojik karakterine ve o bölgedeki atmosferin kirliliğine bağlı olarak değişmektedir [45, s.100]. Türkiye'deki meteoroloji istasyonlarında, yatay yüzeylerdeki toplam güneş ışınmı miktarları birer saatlik aralıklar ile ölçülmektedir.

Güneş ışınmı; kışın cephe yüzeyinde oluşturduğu sıcaklık artışı ile ısı kazancına, yazın soğutma için gereken enerjinin artmasına neden olduğundan, cepheden kaynaklanan ısıtma ve soğutma yüklerinin kontrolünde dikkate alınması gereken önemli etmenlerden birisidir.

Yapay Çevre Değişkenleri

Yapay çevre değişkenleri;

- Binanın yönlendiriliş durumu,
- Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri,
- Bina biçimi,
- Bina aralıkları,
- Doğal havalandırma düzeni,
- Binanın yeri

olarak sıralanabilir [46, s.15-22]. İç iklim konforunun sağlanması; bu değişkenlerin optimum değerlere sahip olacak şekilde belirlenmeleri ile mümkün olmaktadır.

Yönlendiriliş durumu, güneş ışıınımı ve rüzgar gibi dış etmenlerin değişimine neden olarak iç iklim konforu üzerinde etkili olmaktadır.

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri; kabuğun toplam enerji tüketiminin belirlenmesinde önem taşımaktadır. Özellikle cam cephelerde, ısı kayıp ve kazançlarının önemli bir bölümü kullanılan camın özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, cephede kullanılacak camın seçimi, enerji etkinlikte dikkate alınması gereken önemli bir konudur.

Binanın biçimi, kabuğun toplam dış yüzey alanının ve buna bağlı olarak da enerji kazanç ve kayıplarının değişmesine neden olmaktadır.

Bina aralıkları, güneş ve rüzgar etmenlerinin faydalı etkilerini engellemeyecek şekilde düzenlendiğinde enerjiden kazanç sağlanması mümkün olmaktadır.

Doğal havalandırma düzeni, iç iklim konforunun sağlanması açısından ihtiyaç duyulan hava hareketinin değişiminde etkili olmaktadır. Havalandırma açıklıklarının alanlarına, birbirlerine göre konumlarına ve bulundukları cephelerin yönüne bağlı olarak, hava hareketi değerinin istenen düzeyde sağlanması mümkün olmaktadır.

Binanın yeri, eğimine, konumuna ve örtü şekline bağlı olarak enerji kayıplarının azaltılmasında etkili olmaktadır.

3.1.1.2 İç Etmenler

İç iklim konforunun sağlanmasında etkili olan iç etmenler; iç hava sıcaklığı, iç hava nemliliği, hava hareketi ve ortalama ışıınımsal sıcaklık olarak sıralanmaktadır [47, s.51-54]. İç etmenlere ilişkin değerleri çeşitli kaynaklarda verilen tablo ve grafiklerden elde etmek mümkündür [48, s.43-54; 49, s.26-34].

3.1.2 Ekonomik Etmenler

Cephenin ekonomik etkinliğinin değerlendirilebilmesi için, tasarım, yapım ve kullanım sürecindeki maliyetine ilişkin tüm etmenlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, öncelikle cephenin bu süreçlerdeki maliyetini oluşturan işlemlerin neler olduğu belirlenmelidir.

Bir binanın *tasarım sürecindeki maliyetine ilişkin işlemler*; tasarlama öncesi işlemler, tasar özeti, yapılabirlik etütleri, tasarlama işlemleridir. *Yapım sürecindeki işlemleri*; inşaat işlemleri oluşturmaktadır. *Kullanım sürecindeki maliyetine ilişkin işlemler ise*; iç konfor koşullarının sağlanmasına ilişkin işlemler (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma vb.), kullanım amacına ilişkin eylemler (elektrik, su, doğal gaz tüketimi vb.) ve işletme, bakım-onarımına ilişkin işlemler olarak sıralanmaktadır [50, s.98].

Seeley, I. H., binanın toplam maliyetini ilk maliyet ve kullanım maliyeti olmak üzere iki grupta toplamaktadır. İlk maliyet; arsa, tasarım ve inşaat işlemlerine ilişkin maliyetlerden oluşmaktadır. İşletme maliyetleri (bakım-onarım, temizlik, enerji maliyetleri, vb.) ve kullanım ücretleri (vergiler, sigortalar, yenilemeler, bina yönetimi, vb.) ise kullanım maliyetleridir [51, s.209].

Yukarıda bahsedildiği gibi, cephenin tasarım, yapım ve kullanım sürecindeki maliyetini oluşturan işlemler, ekonomik etkinliğine etki eden etmenlerin belirlenmesinde önem taşımaktadır. Söz konusu süreçlerdeki işlemlere bağlı olarak ekonomik etmenler Tablo 3.1 'de görüldüğü gibi belirlenebilmektedir.

Tablo 3.1 Cephenin ekonomik etkinliğine etki eden etmenler.

TASARIM SÜRECİNDEKİ İŞLEMLER	ETMENLER
Tasarlama işlemleri	Arsa koşulları Finans Kaynaklar
YAPIM SÜRECİNDEKİ İŞLEMLER	ETMENLER
İnşaat işlemleri	Malzeme, parça ve bileşen fiyatları İşçilik fiyatları Araç fiyatları
KULLANIM SÜRECİNDEKİ İŞLEMLER	ETMENLER
Yakıt kullanımı	Yakıt fiyatları Tüketilen yakıt miktarı
Enerji kullanımı	Elektrik enerjisi fiyatları Tüketilen enerji miktarı
Temizlik, bakım-onarım işlemleri	Bileşen ya da parçaların kolaylıkla değiştirilebilmesi Bileşen, parça ya da malzemelerin dayanıklılığı

3.2 Cam Cepheden Beklenen Performans Gereksinimleri

Cam teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan cam cephenin, ince kesiti ile bir dış kabuktan beklenen performans gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir. Genel olarak bir dış kabuktan beklenen

bu gereksinimler, performans değerlendirme alanında yapılan çalışmalar doğrultusunda belirlenmektedirler.

Cam cephe performansının değerlendirilmesinde birçok konuyu ele alan bir alışma, İngiltere’de Bath Üniversitesi’ne bağlı bir araştırma kurumu olan *Center for Window&Cladding Technology* (CWCT) tarafından giydirme cepheler üzerine hazırlanmış bir standarttır. Bu standartta; bir giydirme cephenin sahip olması gereken özellikler, aşağıdaki gereksinimlere bağlı olarak açıklanmaktadır [34, s.13-31]:

- Taşıyıcılık,
- Hava sızdırmazlık,
- Suya karşı sızdırmazlık,
- Rüzgar direnci,
- Isısal zellikler,
- Yoğuşma,
- Hareketler,
- Gürültü,
- Akustik zellikler,
- Yangına karşı dayanım,
- Dayanıklılık

Söz konusu standarttaki gereksinimler, CWCT tarafından 1994 yılında cephe mühendisliği üzerine yapılan bir araştırma sonucu daha da genişletilerek standarda aşağıdaki gereksinimler ilave edilmiştir [52, s: 15-30]:

- Güvenlik,
- Görünüş,
- Aydınlatma,
- Enerji Dengesi,
- Patlamalara karşı direnç,
- Güvenilirlik,
- Kalite.

Rich, P. ve Dean, Y. bahsedilen günümüz ihtiyaçlarına çözüm getirebilmek amacıyla, bina performansını kendisini oluşturan her bir elemana etki eden etmenlere

bağlı olarak değerlendirmekte ve bu doğrultuda binadan beklenen özellikleri aşağıdaki gibi sıralamaktadırlar [53, s.XI]:

- Stabilité,
- Sızdırmazlık,
- Minimum enerji kullanımı,
- İç mekanda sağlıklı bir havalandırma ve yüksek bir hava kalitesi sağlama,
- Gölgeleme sağlamak amacıyla dışarıdaki binalardan, ağaç ve bitkilerden yararlanma,
- Yılın tamamında konforlu bir iç iklim sağlama,
- Güneş enerji kazancı ve sağlıklı bir mekan için gün ışığından yararlanma,
- Yeniden kullanılabilir olması,
- Yangına karşı dayanıklı malzemelerden yapılması,
- Yangın alarm sistemlerinin olması,
- Güvenli bir bina olması,
- Üretim aşamasında kullanılan enerjiyi azaltabilen malzeme ve tekniklerin kullanımı.

Bu çerçevede düşünüldüğünde; cephe tasarımında bu özelliklerin de dikkate alınması ile enerji ve ekonomik etkin çözümlere ulaşılabileceği açıktır. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra yeni yapı ve malzeme teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte yaygın olarak kullanılmaya başlanan cam cephelerin, bu açılardan değerlendirilmesinin gerekliliği ortadadır.

Yukarıda yapılan açıklamalar doğrultusunda, genel olarak bir cam cepheden beklenen performans gereksinimleri aşağıda açıklanmaktadır:

3.2.1 Enerji Korunumu

Enerji korunumu cephede oluşan ısı geçişlerinin denetlenmesi ile sağlanmaktadır. Genel olarak bir cam cephede oluşan ısı geçişleri; iletim, taşınım ve ışıyım yoluyla oluşan ısı geçişleri olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Isı geçişlerinin denetimi ile, cephenin her iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farklılıkları azaltılarak konfor düzeyi sağlanmakta ve cepheden beklenen enerji etkinliğe ulaşılabilmektedir.

Cam cephe yüzeyindeki ısı geçişleri, cephe sistemi ve malzemesi ile binanın yönlenme durumuna ve biçimlenişine bağlı olarak denetlenebilmektedir.

Cephe sisteminin ısı geçişleri üzerindeki etkisi, cam panellerin birbirleri ve taşıyıcı ızgara ile bağlantılarının sızdırmazlığı ile ilgili bir konudur. Söz konusu bağlantıların ısı köprüsü oluşturmayacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

Cephede kullanılan camın özellikleri, ısıtma ve soğutma yüklerinin denetiminde etkili olmaktadır. Camın geçirgenlik, yutuculuk ve yansıtıcılık özelliklerine bağlı olarak, enerji kayıp ve kazançlarını belirlemek mümkün olmaktadır.

Binanın yönlenme durumuna ve biçimlenişine ilişkin denetim ise; binanın ısıtma istenen dönemde güneş ışınlamından maksimum düzeyde yararlanacak, soğutma istenen dönemde güneş ışınlamından maksimum düzeyde korunacak şekilde yönlendirilmesi ve biçimlendirmede güneş ışınlamının geldiği yön dikkate alınarak en geniş cephe optimum yöne bakacak şekilde düzenlenmesi ile gerçekleşmektedir.

3.2.2 Hava Sızdırmazlık

Cam cephelerde; hava sızdırmazlık gerek cepheden kaynaklanan ısı kayıp ve kazançlarının azaltılmasında gerekse su sızdırmazlığın sağlanmasında taşıdığı önem nedeniyle, enerji etkinlik açısından istenen bir performans gereksinmesidir [54, s.253]. Sızıntı miktarı, rüzgar hızına ve cephenin iç ve dış yüzeyi arasındaki sıcaklık ve basınç farklılıklarına bağlı olarak değişmektedir.

Cam cephelerin hava sızdırmazlık performanslarının araştırılması amacıyla *The American Society for Testing and Materials* (ASTM) tarafından hazırlanmış olan ASTM E283'de dış kabuktaki pencere ve kapıların hava sızdırmazlıklarının ölçülmesine ilişkin bir test yöntemi önerilmektedir [55].

3.2.3 Su Sızdırmazlık

Cephede su sızıntısına neden olan kuvvetler; yerçekimi, kinetik enerji, kılcallık, rüzgar basıncı ve hidrostatik basınçtır [56, s.175]. Bu kuvvetlerin etkisi ile suyun cam cephe bileşenlerinin birleşim noktalarından içeriye girmesini engellemek amacıyla macun ya da conta gibi sızdırmazlık gereçleri kullanılmakta, derz dış

yüzeyinden derz arasına sızan suyu yeniden dışarı yönlendirmek üzere drenaj kanalları oluşturulmakta ya da dış basınç ile derz içindeki basınç arasında bir denge sağlanmaktadır [57, s.57].

Cam cephelerin sabit ve değişken hava basıncı altındaki su sızdırmazlık performanslarının belirlenmesi amacıyla, ASTM E331 ve ASTM E547 numaralı standartlarda birer test yöntemi ortaya koyulmaktadır [58, 59].

3.2.4 Rüzgara Dayanıklılık

Cam cephe sisteminin rüzgar yüklerine karşı yeterli dayanıma sahip olması; taşıyıcı profillerin ve cam plakaların rüzgar yükü altında yapacakları sehim miktarlarına göre boyutlandırılmaları ile mümkün olmaktadır. Bu durumda, cephenin bina yüksekliğine bağlı olarak aldığı rüzgar yükünün dikkate alınması gerekmektedir.

Rüzgara dayanımı, enerji etkinlik açısından da cephenin sahip olması gereken özelliklerden birisidir. Rüzgar cephe yüzeyinde bir basınç oluşturarak, cephe panellerinin birleşim noktalarından ya da pencerelerden içeriye yağmur girişini hızlandırmakta ve hava sızıntısı yoluyla ya da cephe yüzeyinin ısısal direncini düşürmek yoluyla ısı kayıplarını arttırmaktadır.

3.2.5 Doğal Havalandırma

Doğal havalandırma; kullanıcı için sağlıklı bir ortam oluşturulmasına, soğutma için gereken enerji tüketiminin azaltılmasına ve soğutma cihazları için gerekli ilk yatırım maliyetinin düşürülmesine olanak sağlamaktadır. Ancak tek kabuk cam cephelerin üst katlarında, doğal havalandırma amacıyla açılan pencereler rüzgar basıncı nedeniyle sıkıntı yaratmaktadır. Çift kabuk cam cephelerde ise, ortadaki tampon bölgede oluşan baca etkisi, iç mekanların doğal olarak havalandırılması için bir zorlayıcı güç olmaktadır [60, s.101].

3.2.6 Doğal Aydınlatma

Cam cephenin, yapay aydınlatma amacıyla tüketilen enerjiyi minimuma indirmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, iç mekanda sağlanan doğal ışığın parlaklık düzeyinin konfor koşullarını olumsuz yönde etkilememesi önem taşımaktadır.

3.2.7 Ses Geçirimsizlik

Cam yüzeylerin sese karşı geçirimsizliği; cam kalınlığının artırılması yoluyla ya da çift cam konstrüksiyon kullanılması ile sağlanmaktadır. Bu durumda cam tabakalar arasındaki hava boşluğunun genişliği istenen yalıtımı sağlayabilecek şekilde yapılmalıdır [61, s.5]. Cam kalınlığının iki katına çıkartılması halinde ses geçirimsizliği yaklaşık 4 dB artmaktadır [44, s.318].

3.2.8 Yangına Dayanıklılık

Yangın, sıcaklık artışına neden olarak cam bünyesinde değişiklikler oluşturmaktadır. Mekanik mukavemetinin azalmasına neden olan bu değişiklikler, kullanılan camın özelliklerine, sıcaklık derecesine ve yanma süresine göre değişiklik göstermektedir. Cam cephenin yangına dayanımında; kullanılan camın özellikleri yanında cam paneller ile diğer bileşenler arasındaki derzler de önem taşımaktadır.

3.2.9 Uzun Ömürlülük

Alüminyum çerçeveler, cephe panelleri, derzlerde kullanılan sızdırmazlık malzemeleri, güneş kontrolü sağlayan panjur ya da jaluziler, tespit bileşenleri cephenin hizmet ömrünü belirleyen bileşenlerdir. Bu bileşenlerin birbirleriyle uyumuna, montajlarına, taşıma ve depolamaya dayanıklılıklarına, yüzey bitirmelerine, vb. ilişkin özelliklerinin tasarım sırasında göz önüne alınması; cephenin ömrünün arttırılmasında önem taşımaktadır [34, s.32].

3.2.10 Estetik

Cam cephenin estetiği; cephe sistemin oluşturan bileşenlerin biçimine, boyutlarına, uygulanma şekline ve rengine göre farklılık göstermektedir. Son yıllarda malzeme ve sistem teknolojisinde gerçekleşen gelişmeler sonucunda; cam cephelerde gerek farklı renkteki camların gerekse strüktürel camlama sistemlerinin uygulanmaya başlaması, estetik açıdan kaliteli cephelerin tasarlanmasına imkan tanımaktadır.

3.2.11 Ekonomi

Cephe elemanının ekonomik etkinliği; ısıtma ya da soğutma için harcanan enerji miktarına, seçilen cam tipinin özelliklerine, panellerin uygulanması sırasında kullanılan tekniğe, işçiliğe, araç ve malzemeye bağlı olarak değişmektedir. İlk yatırım maliyetini düşük tutmak amacıyla, malzeme, araç-gereç ve uygulama tekniklerinin uyumlu bir bütün oluşturacak şekilde seçiminin yapılmaması; işletme, bakım, onarım ve yenileme maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, yapım ve kullanım sürecinin bir bütün olarak değerlendirilmesi cephenin ekonomik etkinliği açısından önem taşımaktadır.

3.3 Cam Cepheden Beklenen Performans zellikleri ve ltleri

Bir cam cepheye ilişkin performans ltleri, cepheden beklenen performans gereksinmelerinin karşılanıp karşılanmadığını ölçmek amacıyla cam kabuğun özelliklerine bağlı olarak ortaya koyulabilmektedir. Aşağıda gereksinmeler doğrultusunda belirlenmiş özellikler ve ölçütler açıklanmaktadır.

3.3.1 Isısal ve Optik zellikler / ltler

Cephedeki ısı geçişleri nedeniyle oluşan kayıp ya da kazanç miktarları üzerinde etkili olan ısısal ve optik zellikler;

Isı geçirgenlik direnci,

Güneş enerjisi geçirgenliği,

Isı depolama yeteneği

olarak belirlenebilmektedir.

Isı geçirgenlik direnci ($1/\Lambda$, m^2K/W), belirli kalınlıktaki bir yapı bileşeninin karşılıklı iki yüzeyinin sıcaklıkları arasında 1K fark olduğuunda, bir saniyede, 1 m^2 alandan iletim yoluyla geçen ısı miktarına gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır [62, s.VII]. Bu özelliğe bağlı olarak belirlenen ve yukarıda sıralanan koşullar altında bileşenden iletim yoluyla geçen ısı miktarı olarak tanımlanan ısı geçirme katsayısı (U , W/m^2K), birçok ülkede yapı elemanları için standart bir değer haline getirilmiştir. Toplam enerji yükünün azaltılabilmesi açısından bu değerin

standartlarda belirtilen değeri aşmaması gerekmektedir. Ülkemizde dış duvarın opak ve saydam kısımları için minimum ısı geçirme katsayısı değerleri iklim bölgelerine göre TS 825’de verilmektedir. Bu standartta; örneğin II. derece iklim bölgesi içinde yer alan İstanbul ili için:

$$U_{\text{Duvar}} = 0.60 \text{ W/m}^2\text{K} \quad U_{\text{Pencere}} = 2.80 \text{ W/m}^2\text{K}$$

olarak belirtilmektedir [63, s.17].

Güneş enerjisi geçirgenliği; cam cephe bileşenlerinin optik özelliklerine (geçirgenlik, yutuculuk, yansıtıcılık) bağlı olarak cepheden geçen toplam güneş enerjisi miktarını tanımlamaktadır. Bu özellik; cam cepheye güneşten gelen ışıının kesri olarak ifade edilen güneş ısı kazanç katsayısı (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) ile ölçülmektedir. Bu katsayı, cepheye ulaşan güneş ışıının doğrudan içeriye geçen kısmını ve yutulan ile tekrar yayılan kısmın her ikisini içermektedir [64, s.27.18].

Isı depolama yeteneği, cephe bileşenlerinin özgül ısılarına (c , Wh/kgK) ve kalınlıklarına bağlı bir özelliktir. Isı depolama değeri (W , Wh/m²K) ile ölçülen bu özellik, bir yapı bileşeninin sınırladığı iç ve dış hacimler arasında 1 K sıcaklık farkı olduğu zaman, elemanın 1 m² alanında depolanan ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır [62, s.IX].

3.3.2 Hava Sızdırganlığı / Hava Sızdırganlık Oranı

Hava sızıntısı yoluyla oluşan ısı kayıp ve kazançları, cephenin hava sızdırganlığına bağlı olarak değişmektedir. Hava sızdırganlığı, TS 4049’da kapalı bir pencerenin iki yüzeyi arasında basınç farkı olduğunda, bu pencerenin aralıklarından hava sızdırma özelliği olarak tanımlanmaktadır [65, s.1]. Bu özellik, standart koşullarda basıncın fonksiyonu olarak saat başına metreküp (m³/h) ile ifade edilen hava akışı ile belirlenir. CWCT tarafından giydirme cepheler için hazırlanan standartta [34, s.18]; izin verilebilir hava sızdırganlık oranları sabit pencereler için 1.5 m³ / h / m², açılan açıklıklar için 2.0 m³ / h / m² olarak belirtilmektedir.

3.3.3 Su Sızdırmazlık / Su Sızdırmazlık Sınırı

Cam cephe, iç yüzeyine ya da bileşenleri içerisine su sızmasını önleyecek şekilde geçirimsiz olarak tasarlanmalıdır. Bu özellik, pencerelerin statik basınç farkı altında su sızdırdığı en düşük basıncı ifade eden su sızdırmazlık sınırı ile ölçülmektedir.

3.3.4 Rüzgara Dayanımı / Rüzgar Direnci

Cam cephe sistemini oluşturan bileşenlerin (taşıyıcı ızgara ve cam plakaların) rüzgar yüklerine karşı yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, söz konusu bileşenlerin boyutlandırılmasında rüzgar yükleri dikkate alınmaktadır. DIN 1055’de bina yüksekliğine göre hesaplamalarda dikkate alınması gereken rüzgar yükü değerleri verilmektedir[66, s.2].

3.3.5 Doğal Havalandırma Sağlaması / Hava Değişim Oranı

Cam cepheden, gerek kullanıcı konforu gerekse soğutma giderlerinin azaltılması açısından doğal havalandırma sağlaması beklenmektedir. Gereksinim duyulan hava miktarı, hava değişim oranı ($I, ac / h$) ile ölçülmektedir. Bu değer, bir ofis binasında minimum 2-2.5 ac / h olması gerekmektedir [67, s.102].

3.3.6 Doğal Aydınlatma Sağlaması / Işık Geçirgenlik Faktörü

Cam cephenin doğal aydınlatma gereksinimini sağlayıp sağlamadığı cam yüzeyinden geçen ışık miktarına bağlı olarak belirlenmektedir. Işık geçirgenlik faktörü (%) ile ölçülmekte olan bu miktarın düşük olması halinde; ilave aydınlatmaya duyulan gereksinim daha fazla elektrik enerjisi kullanımına ve dolayısıyla soğutma yükünün artmasına neden olmaktadır [68, s.146].

3.3.7 Ses Yalıtımı / Ses Yalıtım Değeri

Cam cephenin sağlaması gereken ses yalıtımı, bulunulan bölgedeki gürültü seviyesine ve bina fonksiyonuna bağlı olarak değişmektedir. Ses yalıtım değeri ile ölçülmekte olan bu özellik; çift camlı bir pencere için 33-35 dB, trafik gürültüsünün yoğun olduğu yerler için ise 26-29 dB olarak önerilmektedir [61, s.5].

3.3.8 Yangın Dayanımı / Yangın Direnci

Cephenin yangın dayanımı, bileşenlerin yangına dayanıklı malzemelerle oluşturulması ve cephe ile taşıyıcı sistem arasındaki birleşimlerin herhangi bir kattaki alevin ya da dumanın diğer katlara yayılmasını önleyebilecek şekilde tasarlanması ile mümkün olmaktadır.

3.3.9 Dayanıklılık / Yaşam Ömrü

Cephe bileşenlerinin ve bunlar arasındaki birleşimlerin güneş ışınlarına, yağmura ve suya dayanıklı malzemelerden seçilmesi gerekmektedir. Bu özellik, söz konusu malzemelerin yaşam ömrü ile ölçülebilmektedir.

3.3.10 Estetik

Estetik öznel bir kavram olması nedeniyle, bu konuda bir ölçüt ortaya koyulması mümkün değildir. Cephenin diğer ölçütleri karşılamaması halinde oluşacak hasarlar cephenin estetiğini olumsuz yönde etkilemektedir.

3.3.11 Ekonomiklik / Toplam Maliyet

Ekonomik etkinliğin değerlendirilmesine ilişkin ölçütler; yapım ve kullanım sürecine ilişkin ölçütlerdir. *Yapım sürecine ilişkin ölçütler*; araç-gereç, işçilik ve malzeme ile ilgili olan ölçütlerdir. *Kullanım sürecine ilişkin ölçütler ise*; işletme (yakıt, elektrik maliyeti), bakım-onarım ve yenileme maliyetine ilişkin ölçütlerdir. Her iki ölçüt grubu da yapılan projeye göre değişkenlik göstereceği için, ekonomik etkinlik açısından toplam maliyetin dikkate alınması gerekmektedir.

3.4 Sonuç

Bu bölümde; genel olarak cam cepheye etki eden etmenler ile cepheden beklenen performans gereksinimleri, özellikleri ve ölçütleri açıklanmaktadır. Bunlar enerji ve ekonomik bir cam cephe için aşağıda özetlenmektedir:

- Cam cephelerin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesinde, doğal ve yapay çevreye bağlı etmenler ile ekonomik etmenler öncelikli etmenler olarak

kabul edilmektedir (Tablo 3.2). Bu seçimde; doğal ve yapay çevreye bağlı etmenlerin soğuk ve sıcak dönemde ısıtma ve soğutma için harcanan enerji tüketimi üzerindeki etkileri, ekonomik etmenlerin ise, kullanım sürecindeki enerji maliyetleri üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır.

Tablo 3.2 Cephenin enerji ve ekonomik etkinliğine etki eden etmenler.

DOĞAL ve YAPAY ÇEVREYE BAĞLI ETMENLER	
Dış İklim Değişkenleri	Yapay Çevre Değişkenleri
Dış hava sıcaklığı Dış hava nemliliği Rüzgar Güneş Işınımı	Binanın yeri Binanın biçimi Binanın yönlendiriliş durumu Bina aralıkları Doğal vantilasyon düzeni Bina dış kabuğunun optik ve fiziksel özellikleri
EKONOMİK ETMENLER	
Yapım Sürecine İlişkin	Kullanım Sürecine İlişkin
Bileşen, parça ve malzeme fiyatları İşçilik fiyatları Araç fiyatları	Yakıt fiyatı Elektrik enerjisi fiyatı Tüketilen ısıtma ve soğutma enerjisi miktarı Yaşam dönemi

- Cam cephe performansının değerlendirilmesi alanında yapılmış çalışmalara bakıldığında, genel olarak cam cepheye ilişkin gereksinmelerin iklimle dengeli bir tasarım anlayışı ile belirlenmediği görülmektedir. Cam cephenin Rich ve Dean tarafından ortaya koyulan özellikler açısından performansının değerlendirildiği bir çalışmaya ise rastlanmamıştır. Enerji korunumunun ve iç iklim konforunun sağlanması ihtiyacından ortaya çıkan bu özelliklerin dikkate alınması ile, enerji ve ekonomik etkin bir cam cepheden beklenen performans gereksinimleri Tablo 3.3’ de görüldüğü gibi düzenlenebilmektedirler. Aynı tabloda bir cephenin sahip olması gereken özellikler ve bunlara bağlı olarak belirlenen performans ölçütleri de gereksinimlerle ilişkili olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Enerji ve ekonomik etkin bir cam cepheden beklenen performans gereksinimleri, özellikleri ve ölçütleri.

ENERJİ ve EKONOMİK ETKİN BİR CAM CEPHEDE BEKLENEN PERFORMANS GEREKSİNİMLERİ	ENERJİ ve EKONOMİK ETKİN BİR CAM CEPHEYE İLİŞKİN PERFORMANS ÖZELLİKLERİ	ENERJİ ve EKONOMİK ETKİN BİR CAM CEPHEYE İLİŞKİN PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ
Enerji İle İlgili Gereksinimler	Enerji İle İlgili Özellikler	Enerji İle İlgili Ölçütler
Isı kayıplarını önlemek Güneş kontrolü sağlamak Isı depolamak Hava sızdırmazlık Rüzgara karşı dayanıklılık Doğal havalandırma Doğal aydınlatma Minimum enerji tüketimi	Isı geçirgenliği Güneş enerjisi geçirgenliği Isı depolama yeteneği Hava sızdıranlığı Rüzgar dayanımı Doğal havalandırma sağlaması Doğal aydınlatma sağlaması Enerjiyi minimum ölçüde kullanması	Isı geçirme katsayısı Güneş ısı kazanç katsayısı Isı depolama değeri Hava sızdıranlık oranı Rüzgar direnci Hava değişim oranı Işık geçirgenlik faktörü Enerji tüketimi
Ekonomi İle İlgili Gereksinimler	Ekonomi İle İlgili Özellikler	Ekonomi İle İlgili Ölçütler
Düşük maliyet	Ekonomiklik	İlk yatırım maliyeti Enerji maliyeti Bakım – onarım maliyeti

4. CAM CEPHELERDE ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİK VE ENERJİ TÜKETİMİNİN DENETLENMESİ

Bir cephede enerji ve ekonomik etkinlikten bahsedildiğinde; ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerine minimum düzeyde görev yükleyen ve toplam maliyeti minimum olan bir cephe akla gelmektedir. Bu çerçevede; enerji etkinliğin sağlanabilmesi için ısı kayıp ve kazançlarından kaynaklanan enerji tüketiminin denetlenmesi gerekmektedir. Böyle bir denetim, enerji maliyetlerinde oluşacak azalma nedeniyle beraberinde uzun dönemde ekonomik etkinliği de getirmektedir.

BRE Digest 355 'de; bir binanın enerji tüketiminde etkili olan konular;

- Isı kayıpları,
- Isıtma sisteminin etkinliği,
- İç ısı kazançları,
- Yakıt fiyatı

olmak üzere dört grupta toplanmaktadır [69, s.4]. Söz konusu etkinliğin değerlendirilebilmesi, bu konuların dikkate alınması yoluyla cephenin ne ölçüde enerji tükettiğinin ve bu tüketimin toplam maliyete olan etkilerinin belirlenmesi ile mümkün olmaktadır.

Enerji tüketiminin denetiminde; iklimle dengeli bir tasarım anlayışı ile alınan önlemler önemli bir yer tutmaktadır. Sıcak dönemde ısı kazançlarını soğuk dönemde ise ısı kayıplarını azaltmayı amaçlayan bu anlayış çerçevesinde alınan önlemler ile, binalarda ısıtma ve soğutma için harcanan enerji tüketiminde %60'a varan bir azalma sağlanmaktadır [70, s.1].

Cam cephenin enerji kayıp ve kazançlarının iklimle dengeli bir tasarım anlayışı ile denetlenmesinde etkili olan ilkeler ve bunlar doğrultusunda alınabilecek önlemler aşağıda açıklanmaktadır.

4.1 İklimle Dengeli Tasarım İlkeleri

1980’li yıllardan sonra enerji etkin ve çevreyle dost bir cephe tasarımı anlayışının gelişmesiyle iklimle dengeli tasarım ilkeleri doğrultusunda tasarımlar yapılması zorunlu hale gelmektedir. Böylelikle ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, iç iklim kontrolünde birincil eleman olma özelliğini kaybetmekte ve gerektiğinde ilave sistemler olarak hizmet görmek üzere tasarlanmaktadır.

İklimle dengeli tasarımın ilkeleri; yaz ya da kış şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösteren doğal iklim elemanlarını kullanarak optimum şartların sağlanması, minimum enerji kullanımının ve çevreyle dost bir tasarım anlayışının benimsenmesi isteğinden yola çıkılarak belirlenmektedir. Tasarımcı, güneşten ya da diğer ısı kaynaklarından ısı kazancını arttırmayı ve ısıyı mekan içerisinde tutmak ya da hava sızıntılarını önlemek yoluyla ısı kaybını azaltmayı amaçlamaktadır.

Goulding, Lewis ve Steemers tarafından konforlu bir iç çevre yaratmak için önerilen iklimle dengeli tasarım ilkeleri ve bu ilkelere ilişkin açıklamalar [43, s.46-95] Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1 İklimle dengeli tasarım ilkeleri.

KIŞ ISITMA İLKELERİ	YAZ SOĞUTMA İLKELERİ
Güneş Işınımı Kazancı: Toplanan güneş ışınımının ısıya dönüştürülmesi.	Güneş Işınımının Denetimi: Güneş ışınlarının binaya ulaşmasının önlenmesi.
Isı Depolama: Güneş enerjisinin ısıtma istenmeyen dönemde toplanarak gelecek kullanımlar için depolanması.	Dış Kazançlar: Hava sızıntılarının ya da bina kabuğu içinde iletim nedeniyle oluşan ısı artışlarının önlenmesi.
Isı Dağıtımı: Toplanan ısının, ısıtmanın gerekli olduğu mekanlara dağıtılması.	İç Kazançlar: İç ısı kaynaklarından ya da kullanıcılardan kaynaklanan istenmeyen ısının önlenmesi.
Isı Korunumu: Güneş ışınımından kaynaklanan ısının mümkün olduğunca uzun bir süre bina içerisinde tutulması.	Doğal Havalandırma: İstenmeyen sıcak havanın uygun bir sıcaklıkta taze dış hava ile yer değiştirmesi.
	Doğal Soğutma: Aşırı ısının binadan uzaklaştırılması.

Tablo 4.2’de ise; iklimle dengeli tasarım anlayışı ile Watson ve Labs tarafından yaz ve kış iklim şartları için önerilen kontrol ilkeleri görülmektedir. İlkelerden bazıları konfor şartlarını sağlamak üzere hemen hemen tüm iklimlere uygulanabilmektedir.

Tablo 4.2 Kontrol ilkeleri [71, s.32].

KONTROL İLKELERİ		İLETİM	TAŞINIM	İŞINIM	BUHARLAŞMA
KIŞ	Kazancı Arttırmak			Güneş Işınımından Kazanç Sağlamak	
	Kayıbı Azaltmak	İletim Yoluyla Isı Geçişini Azaltmak	Hava Sızıntısı Yoluyla Kaybı Azaltmak		
YAZ	Kazancı Azaltmak	İletim Yoluyla Isı Geçişini Azaltmak	Hava Sızıntısı Yoluyla Kazancı Azaltmak	Güneş Işınımı Kazancını Azaltmak	
	Kayıbı Arttırmak	Toprak Soğutmasını Sağlamak	Doğal Havalandırma Sağlamak	İşınımsal Soğutmayı Sağlamak	Buharlaşma İle Soğutmayı Sağlamak

Cephe seçeneklerinin oluşturulması sırasında düşünülecek önlemlere karar vermede taşıdıkları öncelikleri nedeniyle, ilkelerin daha ayrıntılı olarak açıklanması gerekli görülmektedir.

4.1.1 Güneş Işınımı Kazancının Denetimi

Isı kayıplarının önem kazandığı kış mevsiminde güneş ışınlımından kaynaklanan kazancın artırılması, yaz mevsiminde ise güneş ışınlımı yoluyla kazanılan ısınlın azaltılması amaçlanmaktadır.

Üçüncü bölümde saydam bir yüzeydeki güneş ışıınımı kazancını etkileyen parametreler;

- Malzeme özellikleri,
- Yüzey alanı,
- Güneş ışıınlarının geliş açısı,
- Güneş ışıınımı miktarı

olarak sıralanmıştı. Bu parametreler, güneş ışıınımının denetiminde taşıdıkları önemin anlaşılması amacıyla aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

Malzeme özellikleri; kullanılan camın iletkenliğine, yansıtıcılığına ve yutuculuğuna ilişkin özellikleridir. Günümüzde bu özelliklerin farklı değerler aldığı çok sayıda cam tipi üretilmekte ve performanslarına ilişkin çalışmalar yapılmaktadır. Güneş ışıınımından kaynaklanan aşırı ısınmayı ve parlaklığı önlemek amacıyla üretilen bu camların başlıca iki tipi renkli camlar ve yansıtıcı camlardır [72, s.55].

Yüzey alanı; cepheden içeriye giren güneş ışıınımının miktarı üzerinde etkili olduğu için, enerji kayıp ve kazançlarının denetiminde etkili parametrelerden birisidir.

Güneş ışıınlarının geliş açısı; cam tarafından içeriye iletilen toplam güneş enerjisi miktarını etkilemektedir. Açı arttıkça, camın iletkenliği azalmaktadır. Geliş açısı gün boyunca değişim gösterdiği için, camın toplam güneş enerjisi geçirgenliği de gün içerisinde farklı değerler almaktadır [73, s.67].

Güneş ışıınımı miktarı; perde, stor veya jaluzi ile cephe dışında yapılan gölgeleme-elemanları ile azaltılabilmektedir [74, s.28; 75, s.283-294].

4.1.2 İletim Yoluyla Isı Geçişinin Denetimi

Kabuğun iç ve dış yüzeyi arasında bir sıcaklık farkı oluştuğunda, sıcak taraftan soğuk tarafa doğru bir ısı geçişi oluşmaktadır. Isısal iletim olarak adlandırılan bu olayda; ısı geçiş oranının büyüklüğü;

- Kabuğun ısısal direncine,
- İç ve dış yüzeyi arasındaki ısı farklılıklarına,
- Yüzey alanına

bağlıdır [71, s.43]. Bu nedenle, kabuğun tasarımı aşamasında bu özelliklerin dikkate alınması; ısı kayıp ve kazançlarının minimuma indiği, konforlu bir çevre yaratmak açısından önem taşımaktadır.

4.1.3 Hava Sızıntısı Yoluyla Isı Geçişinin Denetimi

Kabuk içindeki herhangi bir çatlaktan ya da pencere, kapı gibi açıklıkların birleşim noktalarından içeriye doğru bir hava akışı olmaktadır. Bu olay; hava akış yönünün içeriye doğru olması halinde infiltrasyon, dışarıya doğru olması halinde eksfiltrasyon adını almaktadır.

Hava sızıntısı yoluyla oluşan ısı geçişleri, kabukta gerçekleşen ısı kayıplarının en önemli nedenlerinden birisidir. İstenmeyen bu geçişlerin oluşmasında etkili olan ana etkenler, rüzgar ve iç-dış ortam arasındaki sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanan basınç farklılıklarıdır [76, s.23.1]. Genel olarak tamamen sızdırmaz olarak tasarlanmış, kullanıcı tarafından açılabilen açıklıklara sahip olmayan, doğal olarak havalandırmanın mümkün olmadığı ve havalandırmanın mekanik sistemlerle yapıldığı mekanlarda; hava sızıntısı yoluyla ısı kayıpları minimumdur. Bununla birlikte, günümüzde bu tür mekanların kullanıcı sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alınarak, hava sızıntısı kayıplarının detay tasarımı ve uygulama aşamasında verilen doğru kararlarla denetlenmesi amaçlanmaktadır.

4.1.4 Doğal Havalandırma Sağlamak

Doğal havalandırma ilkesinin temelini; rüzgar ya da sıcaklık etkisiyle oluşan basınç farklılıklarından yararlanılması oluşturmaktadır. Doğal havalandırmanın kullanımı; güneş ışımasını kazancının yüksek olduğu, enerji yoğun kaynakları barındıran günümüz binalarını soğutmada yararlanan mekanik tesisatın azaltılmasını amaçlamaktadır [77, s.1-3]. Bulunulan iklim bölgesine göre;

- Sürekli havalandırma
- Gece havalandırması

olmak üzere iki havalandırma ilkesinden yararlanılmaktadır. Sürekli havalandırma; kabuk içerisinde sabit bir hava hareketi oluşturarak doğal yollarla sağlanmaktadır. Günlük sıcaklık farkının düşük olduğu, aşırı nemli ve sıcak bölgeler için uygundur. Gece havalandırması; gün boyunca kapalı tutulan binanın gece boyunca

havalandırılmasıdır. Gün içinde havalandırmanın istenmediği, geceleri sıcaklıkların aşırı ölçüde düştüğü kurak bölgelerde uygulanmaktadır [71, s.57].

Rüzgarın ve sıcaklığın doğal havalandırma sürecindeki etkisi aşağıda açıklanmaktadır.

Rüzgar etkisi

Rüzgar binaya çarptığında; çarptığı yüzeyde yüksek bir basınç, diğer taraftaki korunaklı yüzeyde ise düşük bir basınç oluşturmaktadır. Dolayısıyla, bina kabuğundaki açıklıklar içindeki havanın hareketi, rüzgarın oluşturduğu yüksek basınçlı bölgelerden alçak basınçlı bölgelere doğru olmaktadır. Açıklıkların büyüklüğü ve pozisyonu bina içindeki hava hareketinin hızını ve yönünü belirlemektedir. Çıkış açıklıklarının giriş açıklıklarından geniş olması halinde hava hızı büyümektedir [43, s.91]. Açıklıkların dikey olarak yerleştirilmesi halinde tam bir havalandırma mümkün olmaktadır [73, s.92].

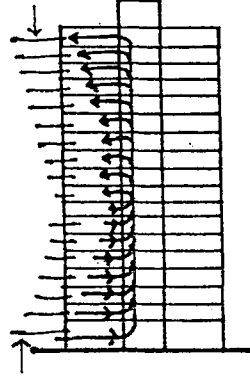
Sıcaklık etkisi

Farklı sıcaklıklara sahip iki hava kütesinin yoğunlukları ve basınçları da farklı olmakta ve böylece hava sıcak olan bölgeden soğuk olan bölgeye doğru hareket etmektedir. Bina içindeki havanın dış havadan daha sıcak olması ve soğutma istenmesi halinde, binadan sıcak havayı uzaklaştırmak için hava basıncı farklılığından yararlanılabilmektedir. Bu amaçla, Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, binanın altında ve üstünde açıklıklar yaratarak alttaki açıklıktan daha soğuk taze hava girerken, sıcak havanın doğal olarak yükselerek üstteki açıklıktan dışarıya çıkması sağlanmaktadır. Isınan havanın yükselmesi sonucu oluşan bu olay ‘Baca Etkisi’ (stack effect) olarak adlandırılmaktadır [78, s.5].

4.1.5 Işınımsal Soğutmayı Sağlamak

Işınımsal soğutma başlıca iki varsayıma dayanmaktadır. Birinciye göre; dış kabuk günlük sıcaklık farklılıklarını dengeleyebilen masif bir kütledir. Böylelikle, iç yüzey sıcaklıkları ortalama dış sıcaklıklara yakın bir değer taşımaktadır. İkinci varsayım ise; kabuktan ısı geçişini azaltmak için binanın gün boyunca kapalı tutulması ve ısıнын geceleyin dışarıya verilmesine dayanmaktadır [79, s.129]. Işınımsal soğutma

genellikle ılık, nemli iklim bölgelerinden çok, gece sıcaklıkların düşük olduğu kuru iklim bölgeleri için daha uygundur [71, s.35].



Şekil 4.1 Baca etkisi [78, s.5].

4.1.6 Buharlaştırma İle Soğutmayı Sağlamak

Buharlaştırma yolu ile soğutma; bina çevresindeki alanlara yerleştirilmiş küçük su havuzları, çeşmeler ya da fiskiyeler ile sağlanmaktadır. Suyun likit halden buhar haline geçmesi için gereken ısıyı sıcak havadan sağlanması sonucu, hava sıcaklığında bir düşme olurken bağıl nemde bir artış olmaktadır. Bu nedenle, havanın doyma noktasına yakın olduğu nemli iklim bölgeleri için uygun değildir [43, s.96].

4.2 İklimle Dengeli Tasarım İlkeleri Doğrultusunda Alınabilecek Önlemler

Wattson ve Labs iklimle dengeli tasarım ilkeleri doğrultusunda, enerji etkin bir bina tasarımı için bina çevresinde ve bina kabuğunda alınabilecek önlemleri aşağıdaki gibi sıralamaktadırlar [71, s.79-81]:

Bina çevresinde alınabilecek önlemler; rüzgar kesiciler kullanma, su, ağaç ve bitkilerden yararlanma ve binanın toprakla çevrilmesi gibi önlemlerdir.

Bina kabuğunda alınabilecek önlemler;

- Güneş ışıınının denetlenmesi: Binayı ısıtmak için kış güneşinden yararlanılması amacına yönelik önlemlerdir. Bunlar:
 - * Zeminin ve dış kabuk yüzeylerinin yansıtıcılığını arttırmak,
 - * Kış güneşini maksimum düzeyde alacak şekilde bina kabuğunu yönlendirmek

ve biçimlendirmek,

- * Güneş ısısı kazancını depolamak için özgül ısısı yüksek malzemeler kullanmak,
- * Güneye yönelmiş yüzeyler üzerinde çatı kolektörleri kullanmak,
- * Güneye bakan cam alanını arttırmak,
- * Kışın güneş ışımasını artırmak için camlı alanların dış yüzeyinde yansıtıcı paneller kullanmak,
- Isısal bir kabuk tasarlama: Isıtma ihtiyacı için enerji sağlamak amacıyla, iç alanların soğuk kış ikliminden izole edilmesine dayanmaktadır. Bu amaçla alınabilecek önlemler:
 - * Dış duvar ve çatı alanlarını azaltmak,
 - * İç ve dış iklim arasında bir tampon bölge olarak çatı arası boşluğu oluşturmak,
 - * İç ortam ve zemin arasında bir tampon bölge olarak bodrum alanı tasarlamak,
 - * Isıtmaya katkı sağlamak için hava bacaları oluşturmak,
 - * Bina içerisindeki ısı kaynaklarını merkezileştirmek,
 - * Giriş yollarında dış rüzgarlıklar kullanmak,
 - * Depo, garaj gibi az kullanılan mekanları tampon bölgeler olarak yerleştirmek,
 - * Kabuğu ısı geçişine direnç gösterebilen malzemelerle oluşturmak,
 - * Nemi kontrol altına almak için buhar dengeleyiciler uygulamak,
 - * İçeriye ve dışarıya doğru hava sızıntılarını önleyebilecek detaylar geliştirmek,
 - * Camlı alanlarda izolasyon kontrolünü sağlamak,
 - * Kuzey, doğu ya da batı duvarları üzerindeki açıklıkları azaltmak,
 - * Hava akışı sağlamak için havalandırma açıklıkları tasarlamaktır.
- Gölgeleme: Yazın aşırı ısınmayı azaltmak amacıyla güneş ışınlarının iç mekanlara girmesini engellemeye yönelik önlemlerdir. Bunlar:
 - * Yaz gölgelemesi için komşu binaları, ağaç ve bitkileri kullanmak,
 - * Bina kabuğunu yaz güneşinden minimum düzeyde etkilenecek şekilde yönlendirmek ve biçimlendirmek,
 - * Yaz güneşine maruz yüzeyler üzerinde ısı yansıtıcı malzemeler kullanmak,
 - * Yaz güneşine maruz cam yüzeylerde gölgeleme cihazları kullanmaktır.
- Doğal havalandırma sağlamak: Yazın mekanın doğal olarak soğutulması amacına yönelik önlemlerdir. Bunlar:
 - * Bina kabuğunu daha fazla rüzgar alacak şekilde biçimlendirmek,
 - * Hava akışını sağlamak için içeride açık plan sistemi kullanmak,

- * İç mekanlarda hava akışını sağlamak için dikey hava bacalarından yararlanmak,
- * Bina kabuğunun havalandırılması amacıyla çift çatı ve duvar konstrüksiyonu kullanmak,
- * Yaz rüzgarından havalandırmada yararlanmak için kapı ve pencere açıklıklarını yönlendirmek,
- * Yaz rüzgarının içeriye direkt olarak alınmasına yardımcı olacak çıkıntılar ve perdeler kullanmaktır.

Steadman'ın kitabında; Fred Dubin'in enerji etkin bina tasarımında alınabilecek önlemlere ilişkin önerileri ise aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [80, s.59-62]:

- Çevresel istekleri azaltmak: Kışın sıcaklıkları daha düşük tutmak (yaşlıların bulunduğu mekanlardaki özel durumlar ve benzeri durumlar dışında), kullanılmayan hacimleri kullanılanlar ile aynı derecede ısıtmamak, soğutmamak veya aydınlatmamak (Koridorlar, lobiler ve diğer çalışılmayan alanlar gibi), duşlarda, lavabolarda ve her çeşit muslukta sıcak ve soğuk su akışını sınırlamak, vb.
- Enerji korunumunu tasarım ve yapımla bütünleştirmek: Gerekmeyen yerlerde pencere alanını azaltmak, cam seçiminde bulunulan iklim şartlarını ve cephe yönünü dikkate almak, dış gölgeleme elemanlarını (sabit dikey yüzeyler, hareket edebilir perdeler, ağaçlar ve çevredeki binalar gibi) kullanmak, dış hava koşullarının uygun olduğu yerlerde açılabilir pencereler kullanmak, binayı iyi izole etmek, enerji isteklerini ve ilk maliyeti azaltmak için çok amaçlı paneller (aynı zamanda hem taşıyıcılık hem de koruyuculuk fonksiyonlarını yerine getirebilen paneller) kullanmak, vb.
- Mekanik cihazların artışını önlemek: Bilgisayar programları kullanarak gerçek durumu yansıtan ısı ve enerji yükü hesaplamaları yapmak.
- Isıtma, soğutma ve aydınlatma sistemlerini belirlemede ısı korunumunu uygulamak: Isı iyileştirme (düzeltme) cihazları kullanmak (kullanılmış havadan dış havaya enerjiyi transfer etmek için), aydınlatma seviyesinin yüksek olması gerektiğinde ek aydınlatma sistemleri kullanmak, vb.
- Etkin mekanik ve elektrik sistemleri seçmek.
- Sıvı ve katı atıkları yeniden kullanmak üzere dönüştürmek (recycling).
- Uzun ömürlü malzeme ve bileşenler kullanmak.

- Bakım, onarım ve işletmenin sağlanmasında detaylı bir bakım programı kullanmak.
- Maksimum etkinlik için bina araç ve sistemlerini bütünleştirmek.

4.3 Sonuç

Bu bölümde binalarda konfor şartlarının ve minimum enerji kullanımının sağlanmasında etkili olan iklimle dengeli tasarım ilkeleri ve bu ilkelere bağlı olarak alınabilecek önlemler sıralanarak, iklimle dengeli bir tasarımın doğal iklim elemanlarından yararlanılarak gerçekleştirilebileceği vurgulanmıştır. Bu amaçla, doğal ısıtma ve doğal soğutmada öncelikli olarak etkili olan güneş ışıınımı ve rüzgarın iklimle dengeli bir tasarımda oynadıkları rol ayrıntılı olarak ortaya koyulmuştur.

Açıklanan ilkeler ve bu ilkeler doğrultusunda alınabilecek önlemler, binanın bütünüünün enerji etkinliğinin artırılmasını amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, gerek bina dışında gerek bina kabuğunda gerekse bina içinde düşünülecek önlemleri içermektedir. Çalışmada; cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlandığından, cepheyi oluşturan bileşenlere yönelik önlemlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de sıralanan iklimle dengeli tasarım ilkeleri incelendiğinde; bazılarının aynı amacı taşımalarına rağmen farklı başlıklar altında ifade edildikleri görülmektedir. Bu karmaşıklığı azaltmak amacıyla ilkeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Güneş ışıınımı kazancını denetlemek,
- İletim yoluyla oluşan ısı geçişlerini denetlemek,
- Hava sızıntısı yoluyla oluşan ısı geçişlerini denetlemek,
- Doğal havalandırma sağlamak,
- Işınımsal soğutma sağlanmak,
- Buharlaşma ile soğutma sağlamak,

Bu ilkelerden ışıınımsal ve buharlaşma yolu ile soğutma, daha çok sıcak kuru iklim bölgelerinde kullanılmaya elverişli olduklarından, ılıman iklim bölgesinde bulunan ülkemiz şartları için uygun ilkeler değİllerdir. Bu nedenle, çalışmada amaçlanan enerji etkinliğin sağlanmasında diğİer ilkeleri dikkate alan bir yaklaşım izlenmektedir.

Isı enerjisinin ve güneş enerjisinin kontrolüne ilişkin bu ilkeler doğrultusunda, cam cepheden kaynaklanan enerji tüketimini azaltmak amacıyla alınabilecek önlemler Tablo 4.3’de özetlenmektedir.

Tablo 4.3 İklimle dengeli tasarım ilkeleri doğrultusunda alınabilecek önlemler.

İKLİMLE DENGELİ TASARIM İLKELERİ	ENERJİ ETKİNLİĞİN SAĞLANMASI AMACIYLA ALINABİLECEK ÖNLEMLER
Güneş ışımasını kazancını denetlemek.	Uygun optik özelliklere (geçirgenlik, yansıtıcılık, yutuculuk) sahip camlar seçilmesi, güneş kontrol elemanları kullanılması.
İletim yoluyla oluşan ısı geçişlerini denetlemek.	Isı geçirgenlik direnci yüksek olan malzemeler kullanılması.
Hava sızıntısı yoluyla oluşan ısı geçişlerini denetlemek.	Cam panellerin birbirleri ve taşıyıcı ızgara ile aralarındaki derzlerde sızdırmazlığın sağlanması.
Doğal havalandırma sağlamak.	Isınan havanın yer değiştirmesini sağlayan bir boşluk tasarlanması.

5. ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK YÖNTEMLER VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesinde; cepheye etki eden etmenler, performans gereksinimleri, özellikleri ve ölçütleri doğrultusunda geliştirilen cam cephe seçeneklerinin birbirleri ile objektif olarak karşılaştırılmaları yoluyla seçim yapılması söz konusudur. Bu çerçevede, genel olarak değerlendirmede kullanılma olasılığı gösteren yöntemler ile enerji ve ekonomik etkinliğin değerlendirilmesi alanında kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerden yararlanan çalışmalar açıklanmaktadır.

5.1 Genel Olarak Değerlendirmede Kullanılma Olasılığı Gösteren Yöntemler

Genel olarak mimarlık alanında değerlendirmeden bahsedildiğinde; bir ürün ya da sürecin getirdiği fayda ya da zararların ortaya konması ve böylece önceden saptanan amaçlara ilişkin ölçütler takımının hangi ölçüde gerçekleştiğinin belirlenmesi söz konusudur [81, s.32]. Bu amacın gerçekleştirilmesinde yararlanılan yöntemlerden bazıları aşağıda kullanıldıkları çalışmalara bağlı olarak tanıtılmaktadır.

E. Özkan, yapı sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek yaklaşım ve yöntemleri aşağıdaki gibi sıralamaktadır [38, s.148-202].

- Performans yaklaşımına dayalı değerlendirme teknikleri,
- Seçeneklerin maliyetleri üzerine kurulu yöntemler,
- Ürün ve süreç değerlendirme ve onama ,
- Ölçüklere göre değerlendirme yöntemi

Performans yaklaşımına dayalı değerlendirme yöntemleri; performans gereksinimlerinin karşılanıp karşılanmadığını ölçmek üzere belirlenen performans ölçütlerinin değerlendirilebilmesi amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu yöntemleri T. Sneek;

- ✓ Bilimsel ilkelere ve ölçmelere dayanan matematiksel yöntemler,
- ✓ Deneysel yöntemler,
- ✓ Ekonomik değerlendirme yöntemleri,
- ✓ Sosyal bilim yöntemleri,
- ✓ Uzman yargıları,
- ✓ Bazı kanıtların temel alındığı kararlar

olarak sıralamaktadır [82, s.10].

Seçeneklerin maliyetleri üzerine kurulu yöntemler; aynı işlevi karşılayan seçeneklerin sağladıkları yarar ile maliyetleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak değerlendirilebildiği yöntemlerdir. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır:

- ✓ Maliyet - kullanma analizi,
- ✓ Maliyet - etkinlik analizi,
- ✓ Maliyet - yarar analizi,
- ✓ Maliyet - performans; performans - yarar analizi

Ürün ve süreç değerlendirme ve onamada; yapı ürünü ve yapım süreçlerinin kullanım amaçlarına uygunluğu değerlendirilmekte ya da ürün özelliklerinin standartlara uygunluğu denetlenmektedir.

Ölçeklere göre değerlendirme yönteminde; aynı düzeyde ve benzer özellikteki yapı ürünlerinin karşılaştırma yoluyla değerlendirilebilmesi için çeşitli ölçeklerden yararlanılmaktadır. Söz konusu ölçekler;

- ✓ Sınıflandırma veya gruplama ölçeği,
- ✓ Sıralama ölçeği,
- ✓ Aralıklı ölçek,
- ✓ Oransal ölçek

olarak sıralanmaktadır [81, s.39; 83, s. 125].

N. Arıoğlu ise, yapı ürünlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek yöntemleri aşağıdaki şekilde gruplandırmaktadır:

- Ölçeklere göre değerlendirme teknikleri,
- Maliyete göre değerlendirme teknikleri,
- Değer analizi.

Ölçeklere ve maliyete göre değerlendirme tekniklerini E. Özkan ile benzer şekilde gruplayan Arıoğlu; değer analizi yöntemi ile üründen beklenen özelliklerin ya da kalite gereksinmelerinin hangi ölçülerde karşılanabileceğinin belirlenebildiğini ifade etmektedir [84, s.77].

5.2 Enerji ve Ekonomik Etkinliğin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

Günümüzde binaların enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesini ve benzer özellikteki seçenekler arasından seçim yapılmasını gerektiren çalışmalarda, enerji ve ekonomik analiz yöntemlerini temel alan simülasyon yönteminden ve matematiksel anlatımlardan yararlanılmaktadır. Özellikle son yıllarda, benzer özellikteki seçeneklerin çok sayıda ölçüte bağlı olarak değerlendirilmesine imkan tanıyan pek çok bilgisayar yazılım programı geliştirilmiştir. Bu programları ile, çok sayıda değişkenin yer aldığı karmaşık enerji yükü analizleri belirlenen amaçlar doğrultusunda hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Gerçekte enerji analizinin amacı, belirlenen seçenekler arasında en düşük maliyete sahip olanın bulunmasıdır. Bu durumda, enerji gereksinimine bağlı olarak bir ekonomik analiz yapılması söz konusudur.

Enerji ihtiyacının hesaplanmasında;

- Durağan kabul edilecek çevre şartlarına bağlı hesap yöntemleri,
- Dinamik çevre şartlarına bağlı simülasyon

olmak üzere başlıca iki analitik yöntem kullanılmaktadır [76, s.28.2].

Durağan çevre şartlarına bağlı hesap yöntemlerinde; belirli bir prosedüre bağlı olarak tasarlanan yapı kabuğundan geçen enerji, iç ve dış koşullar sabit kabul edilerek her bir yapı elemanı için hesaplanmaktadır.

Dinamik çevre şartlarına bağlı olarak yapılan simülasyonda; çevre koşullarının belirli zaman aralıkları ile değişeceği varsayılmakta ve bir yapı bileşeninden geçen ısı miktarı dış ortama (sıcaklık, bağıl nem, güneş ışıınımı şiddeti, rüzgar yönü ve hızı), iç ortama (sıcaklık, bağıl nem), bina ve çevresine (bina boyutları, formu, yön, enlem, çevrenin yansıtıcılığı), kabuk bileşenlerinin katmanlarına (ısı geçirme katsayısı, yoğunluk, kalınlık, özgül ısı, yutuculuk, yansıtıcılık, hava sızdırganlık

katsayısı) ve ısıtma / soğutma sistemine (enerji tüketimi, kapasite) ait veriler yardımı ile zamana bağlı olarak hesaplanmaktadır [85, s.96].

Ekonomik analiz amacıyla kullanılabilecek yöntemler ise;

- Yaşam Dönemi Maliyet Analizi
- Net Fayda (Tasarruf) Analizi
- Fayda-Maliyet Oranı Yöntemi
- İç Verim Oranı Yöntemi
- İskonto Edilmiş Geri Ödeme Yöntemi

olarak sıralanabilmektedir [86, s.13-21].

Bu yöntemlerin tümü para akış zamanını ve paranın maliyetini dikkate almaktadır. İlk dört yöntem yatırımın fayda ve maliyetlerini yaşam dönemi üzerinde değerlendirmekte; sonuncusu ise müşterinin yatırımının hızlı bir dönüşümünü istemesi halinde kullanılmaktadır.

Yaşam Dönemi Maliyeti Analizi (LCC)

Yaşam dönemi maliyeti, bir projenin hizmet süresi içerisinde inşaatı ve işletilmesi için gerekli olan tüm maliyetlerin toplamı olarak tanımlanmaktadır [87, s.203]. Söz konusu maliyetin farklı seçeneklere göre gösterdiği değişimi analiz etmek üzere yaşam dönemi maliyet analizi tekniği geliştirilmiştir.

Yaşam dönemi maliyeti analizi; uzun vadede maliyet performansına dayanarak, aynı amaca hizmet edeceği düşünülen bina ya da bina sistemleri arasında seçim yapmak için bir ekonomik karar verme aracıdır. Bu analiz yöntemine göre, şimdiki ve gelecek maliyetler kabul edilen bir sabit yıldaki değerlere dönüştürülmektedirler. Dönüştürme için faiz ya da iskonto oranını hesaba katan formüller kullanılmaktadır. Bunlar yardımıyla, gelecekte yapılacak bir ödemenin bugünkü değerini, bugün yapılacak bir ödemenin gelecekteki değerini ya da her yıl tekrar eden ödemelerin bugünkü değerini bulmak mümkün olmaktadır [86, s.24]. Böylelikle toplam maliyet tek ölçekte değerlendirilebilmekte ve farklı seçeneklerin hizmet süreleri içindeki ekonomik etkinlikleri karşılaştırılabilmektedir [88, s.129].

Net Fayda (Tasarruf) Analizi

Yapılan yatırımdan sağlanan tasarruf ile yatırımın ilk maliyeti arasındaki farkı bulmak amacıyla kullanılmaktadır. Bir enerji korunumu yatırımı söz konusu ise, sağlanacak enerji tasarrufunun maliyeti net fayda olarak tanımlanmaktadır. Yatırımın kabul edilebilir olması için elde edilen tasarrufun pozitif olması gerekmektedir. Yaşam dönemi maliyet analizi gibi bu yöntemde de, net faydalar şimdiki değerlerde ifade edilebilmektedir.

Fayda - Maliyet Oranı Yöntemi

Bu yöntemde; fayda ve maliyetler bir oran ile tanımlanmaktadır. Enerji korunumu ile sağlanan tasarrufun, bu amaç için gerekli olan maliyete oranının 1'den büyük olması gerekmektedir.

İç Karlılık Oranı Yöntemi

Yöntem; fayda ve maliyetleri tam olarak eşitleyen faiz oranını bulmayı ve böylelikle net faydayı sıfıra indirmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntemde; önceden bir faiz oranı tanımlanması gerekmemektedir. Yatırımın etkinliği; yatırımın maliyeti ile sağlanan faydayı eşitleyen faiz oranının, yatırımcının istediği minimum dönüş oranından büyük olması ile sağlanmaktadır.

İskonto Edilmiş Geri Ödeme Yöntemi

Yöntemde; ilk yatırım zamanı ile faydanın sağlandığı zaman arasındaki sürenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu sürenin, projenin yaşam döneminden daha kısa olması gerekmektedir. Yöntem; geri ödeme süresinden sonra oluşabilecek fayda ve maliyetleri içermemesi nedeniyle, bir yatırımın karlılığının tam bir ölçümünü sağlayamamaktadır.

5.3 Enerji ve Ekonomik Etkinliğin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemlere Dayalı Çalışmalar

Günümüzde binaların enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılmak üzere geliştirilen enerji simülasyon programlarının sayısının gün geçtikçe arttığından bahsedilmiştir. Bu programlardan ABD Enerji

Bakanlığı tarafından hazırlanan bina enerji simülasyon programları listesinde yer alan birkaçı DOE-2, BLAST (Building Loads and System Thermodynamics), EnergyPlus (DOE ve BLAST'ın birleştirilmiş hali), TARP (Thermal Analysis Research Program), ENER-WIN, ENERGY-10 ve TRNSYS (The Transient System Simulation Program) olarak sayılabilir [89]. Aşağıda söz konusu programlardan yararlanılan birkaç çalışma yer almaktadır:

Smart camın enerji ve ekonomik etkinliğini değerlendirmek amacıyla yapılan bir araştırmada; yüksek cam cepheli binalardaki pencere dizaynı ve cam seçimi kararlarının, binanın gelecekteki enerji performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip oldukları belirtilmekte ve çeşitli camlama tiplerinden enerji tüketimi açısından en iyi performansı gösteren seçenek için bir maliyet analizi yapılmaktadır [90, s.307-319]. Bu çalışmada ısısal performansın belirlenmesinde DOE-2 simülasyon programından yararlanılmaktadır. Maliyet analizinin yapılmasında ise; NIST (National Institute of Standards and Technology) tarafından binalar için geliştirilen yaşam dönemi maliyeti programı (BLCC) kullanılmaktadır.

Mevcut konut binalarında enerji kayıp ve kazançlarının denetlenmesi için dış kabuğun yenilenmesinde, uygulanabilirlik, enerji ve ekonomik etkinlik açılarından uygun yöntemlerin ortaya koyulduğu bir TÜBİTAK araştırma projesinde de; enerji kayıp ve kazançlarının belirlenmesi amacıyla DOE-2 simülasyon programı kullanılmaktadır [91, s.6.2].

Tarihi binaların enerji performansının bina formuna, iklime ve bina tipine bağlı olarak değişiminin incelendiği bir doktora çalışmasında ise; Texas A&M Üniversitesi tarafından DOE sponsorluğunda geliştirilen ENER-WIN isimli simülasyon programından yararlanılmaktadır [92].

Ofis binalarının enerji etkinliğini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada ise;

- Bina kabuğunun ısısal performansı,
- Aydınlatma yükü,
- Isıtma, havalandırma ve soğutma sistemlerinin kullanımından kaynaklanan elektrik tüketimi

enerji etkinliğin değerlendirilmesinde öncelikli ölçütler olarak kabul edilmekte ve ısısal performansın ve elektrik tüketiminin belirlenmesi amacıyla HTB2 ve BECON isimli iki simülasyon programından yararlanılmaktadır [93, s. 207-219].

5.4 Sonuç

Çift kabuk cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin objektif olarak değerlendirilebilmesi için, cephenin ısı kayıp ve kazançlarından kaynaklanan enerji tüketiminin ve toplam maliyetinin belirlenmesi gerektiğinden bahsedilmişti. Bu amaçla yapılan çoğu çalışmada bilgisayar yazılım programlarından yararlanılması nedeniyle, değerlendirmede simülasyon yönteminin bir araç olarak kullanılabileceğı görölmektedir. Ancak analizde kullanılacak programın seçiminde, amaçlanan etkinliğı ölçmek üzere kullanılıp kullanılamayacağına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Ekonomik analiz için ise; kullanım sürecindeki maliyetlerin dikkate alınmasına ve farklı seçeneklerin karşılaştırılmasına imkan tanınması nedenleriyle, yaşam dönemi maliyeti analizi uygun bir yöntem olarak görölmektedir.

6. ÇİFT KABUK CAM CEPHELERİN ENERJİ VE EKONOMİK ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

Bu bölümde, çift kabuk cam cephenin enerji ve ekonomik etkinlik açısından değerlendirilmesindeki amaç ve bu amaca ulaşmak için önerilen yaklaşım açıklanmaktadır.

6.1 Yaklaşımın Amacı

Günümüzde enerji kaynaklarının giderek azalması ve aşırı yakıt kullanımı sonucu CO₂ emisyonlarının artması ile oluşan çevre kirliliğinin bir sonucu olarak, özellikle gelişmiş ülkelerde dış kabukta enerji korunumunun sağlanmasına ilişkin çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Bu çalışmalar, yakıt tüketiminin azaltılması yoluyla hem CO₂ üretiminin hem de kullanılan enerji miktarının azaltılmasını amaçlamaktadır. Bu amaca bağlı olarak, söz konusu çalışmalarda enerji tüketiminin azaltılması yanında enerji korunumu amacıyla yapılacak yatırımın bina sahibi açısından ekonomikliği de dikkate alınmaktadır. Bu çerçevede düşünüldüğünde; batı ülkelerinde enerji etkin bir sistem olarak kabul edilen ve uygulanmakta olan çift kabuk cam cephe sistemlerinin, ülkemizde de uygulanabilir sistemler olup olmadığı hem enerji hem ekonomik etkinlik açılarından yapılacak bir değerlendirme sonucunda belirlenebilmektedir. Böyle bir değerlendirme ile, ülke kaynakları açısından enerji tüketiminin ve bina sahipleri açısından toplam maliyetin minimum olduğu seçenekler ile çift kabuk cam cephe sistemleri için uygun bileşen özellikleri ortaya koyulabilmektedir. Önerilen yaklaşım bu sonuca ulaşmada uygun bir yol olarak görülmektedir.

6.2 Yaklaşımın Tanıtılması

Enerji tüketimi ve toplam maliyet açısından etkin olan seçeneklerin seçimi ve uygun bileşen özelliklerinin belirlenmesi amacıyla önerilen yaklaşımda; sistemler

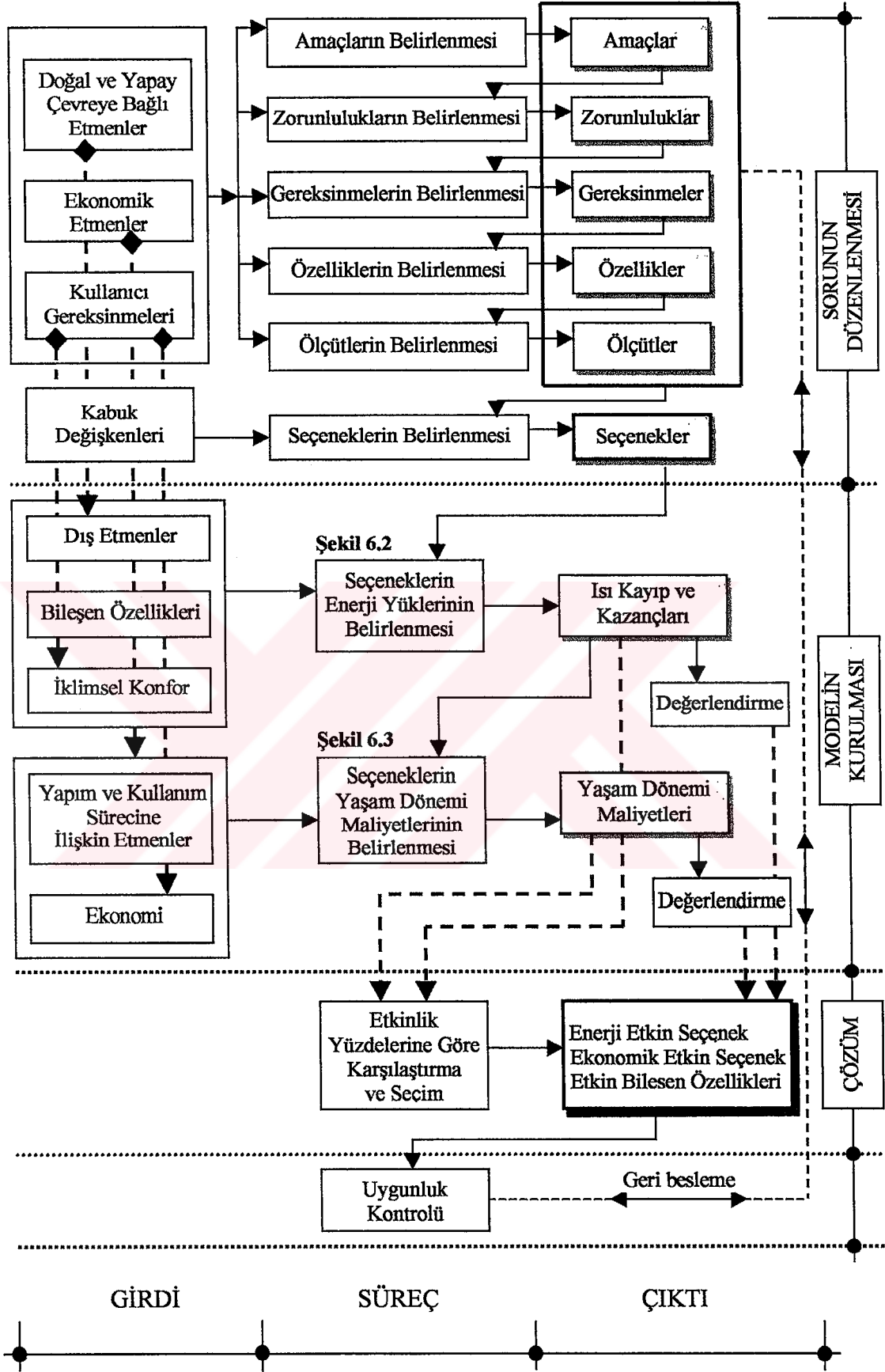
yaklaşımı çerçevesinde seçim yapma sorununa çözüm arayan yöneylem araştırmasının izlediği yoldan hareket edilmektedir. Yöneylem araştırması, pek çok değişkeni ve seçeneği bulunan sorunların çözümünde en etkin olan seçeneğin belirlenmesinde kullanılan bilimsel bir yöntem olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, etkin kabuk seçeneklerinin seçimi için öncelikle seçim strüktürünü oluşturan süreçlerin ve bu süreçlerde yer alan ögelerin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu ögelerin bir sistem meydana getirdiği kabul edilmekte ve ögeler Şekil 6.1’de görüldüğü gibi girdi – süreç – çıktı ilişkisi içerisinde düzenlenmektedirler. Bu düzenleniş biçimi, süreci oluşturan ögeler arasındaki ilişkilerin kurulmasına ve ortaya koyulan sorunun çözümüne imkan tanımaktadır.

Seçim strüktürü, yöneylem araştırmasına paralel olarak başlıca dört sürece dayandırılmaktadır:

- Sorunun düzenlenmesi,
- Modelin kurulması,
- Sorunun çözümü,
- Uygunluk Kontrolü.

6.2.1 Sorunun Düzenlenmesi

Sorunun düzenlenmesi süreci; amaç, zorunluluk, gereksinme, özellik, ölçüt ve seçeneklerden oluşan seçim ögelerinin belirlendiği ve düzenlendiği bir analiz sürecidir. Bu süreç içinde amaçlanan etkinliğin sağlanması için, performans kavramına dayalı çalışmalarda olduğu gibi, seçenekler kullanıcı gereksinmelerini karşılamak üzere çevresine bağlı olarak düşünülmektedir. Buna göre, konfor koşullarını sağlayabilen, enerji ve ekonomik etkin seçenek / seçeneklerin seçimi için, seçim ögelerinin kabuğa etki eden çevresel etmenlere ve kullanıcı gereksinmelerine göre belirlenmeleri gerekmektedir. Bu çerçevede, ögeler girdi – süreç – çıktı ilişkisi içerisinde düzenlenmektedirler. Diğer taraftan, seçim ögelerinin istenen etkinlikler doğrultusunda Tablo 6.1 – Tablo 6.5’de görüldüğü gibi, aynı strüktür içerisinde oturtulmaları aralarındaki ilişkilerin kurulabilmesi açısından önem taşımaktadır. Cephenin enerji ve ekonomik etkinliğine etki eden etmenler ile kullanıcı gereksinmelerinin belirlendiği ve bunlara bağlı olarak seçim ögelerinin ortaya koyulduğu bu süreç aşağıda daha detaylı olarak açıklanmaktadır:



Şekil 6.1 Çift kabuk cam cephelerin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım.

6.2.1.1 Çevresel Etmenlerin Belirlenmesi

Cephenin enerji ve ekonomik etkinliğine öncelikli olarak etki eden çevresel etmenler, doğal ve yapay çevreye bağlı etmenler (dış ve iç etmenler) ile ekonomik etmenler olarak belirlenmektedir (Bakınız Bölüm 3.1).

Dış etmenler; dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, güneş ışıınımı ve rüzgardan oluşan dış iklim değişkenleri ile binanın yönlendiriliş durumu, bina biçimi, bina aralıkları, binanın yeri ve bina kabuğunun ısısal ve optik özellikleri gibi yapay çevre değişkenleridir.

İç etmenler, iç iklim konforunun sağlanmasında önem taşıyan iç hava sıcaklığı ve iç hava nemliliği olarak belirlenmektedir.

Ekonomik etmenler; cephenin ilk yatırım ve kullanım maliyetlerinde (ısıtma ve soğutma enerjisi maliyetleri ile temizlik, bakım, onarım maliyetleri) değişikliklere neden olmaktadır. Bu etmenler; kullanılan ısıtma / soğutma sisteminin etkinliği, enerji birim fiyatları, iskonto oranı, yaşam dönemi ve bileşen fiyatları olarak belirlenmektedir.

6.2.1.2 Kullanıcı Gereksinmelerinin Belirlenmesi

Kullanıcı gereksinimleri, amaçlanan etkinlik açısından kabuğa etki eden etmenlere bağlı olarak kullanıcının eylemlerini gerçekleştirebilmesi için gereksinim duyduğu koşullardır. Bu çerçevede; enerji ve ekonomik etkinlik açısından kullanıcı gereksinimleri; sıcak ve soğuk dönemde ihtiyaç duyulan iklimsel konfor koşullarının sağlanması ve cephenin toplam maliyetinin düşük olması olarak belirlenmektedir.

6.2.1.3 Amaçların Belirlenmesi

Amaçlar; cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğini değerlendirmek üzere doğal ve yapay çevreye bağlı etmenlere, ekonomik etmenlere ve kullanıcı gereksinmelerine bağlı olarak belirlenmektedirler. Bu doğrultuda cam kabuktan beklenen amaçlar;

- Enerji etkinlik,
- Ekonomik etkinlik,
- Kullanıcı konforu

olarak belirlenebilmektedir. Söz konusu amaçlara ulaşılması, bunlar doğrultusunda ortaya koyulan alt amaçların gerçekleşmesi ile mümkün olmaktadır. Tablo 6.1’de enerji ve ekonomik etkin bir kabuktan beklenen alt amaçlar beklenen etkinlikler doğrultusunda düzenlenmektedirler.

Tablo 6.1 Amaçların düzenlenmesi.

AMAÇLAR		
Enerji Etkinlik İle İlgili	Ekonomik Etkinlik İle İlgili	Kullanıcı Konforu İle İlgili
Isıtma yükünü azaltmak Soğutma yükünü azaltmak	Isıtma maliyetlerini düşürmek Soğutma maliyetlerini düşürmek	Optimum koşulların sağlanması (ısıtma, soğutma, doğal havalandırma, doğal aydınlatma)

6.2.1.4 Zorunlulukların Belirlenmesi

Zorunluluklar, amaçlara ulaşmada etkili olan ve doğrudan amaçlarla ilişkili olan sınır koşullarıdır. Cam cephenin amaçlanan etkinliğine etki eden sınır koşulları; ilgili yasa, yönetmelik ve standartlardan yararlanılarak belirlenmektedir. Zorunlulukları Tablo 6.2’de görüldüğü gibi amaçlar ile aynı strüktürde düzenlemek mümkündür.

Tablo 6.2 Zorunlulukların düzenlenmesi.

ZORUNLULUKLAR		
Enerji Etkinlik İle İlgili	Ekonomik Etkinlik İle İlgili	Kullanıcı Konforu İle İlgili
İlgili yasa, yönetmelik, standart, şartnameler	İlgili yasa, yönetmelik, standart, şartnameler	İç iklim konfor koşullarına ilişkin standartlar

6.2.1.5 Performans Gereksinmelerinin Belirlenmesi

Performans gereksinmelerinin belirlenmesi, seçeneklerden beklenen özelliklerin ve ölçütlerin tanımlanabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bölüm 3.3’de kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda enerji ve ekonomik etkin bir cam cepheden beklenen performans gereksinmelerinden bahsedilmişti. Bunlar yaklaşımın bütünlüğünün bozulmaması amacıyla, Tablo 6.3’de görüldüğü gibi amaçlar ile aynı stüktürde düzenlenmektedirler.

Tablo 6.3 Performans gereksinmelerinin düzenlenmesi.

PERFORMANS GEREKSİNİMLERİ		
Enerji Etkinlik İle İlgili	Ekonomik Etkinlik İle İlgili	Kullanıcı Konforu İle İlgili
Enerji Korunumu Hava sızdırmazlık Doğal havalandırma Doğal aydınlatma	Ekonomi	Konfor koşulları (Isısal konfor, yeterli havalandırma, optimum aydınlık düzeyi)

6.2.1.6 Ölçüt Olabilecek Özelliklerin Belirlenmesi

Ölçüt olabilecek özellikler, amaçlanan etkinliğin sağlanabilmesi için cam kabuğun sahip olması gereken özelliklerdir. Cepheden beklenen performansa bağlı olarak bir kabuktan beklenen özellikler farklılık göstermektedir. Nitekim, ikinci bölümde bahsedildiği gibi, doğal enerji kaynaklarının azalması ve çevresel kirliliğin artması ile birlikte, cam kabuğun özellikleri daha az enerji tüketmesini sağlayacak yönde geliştirilmektedir. Tablo 6.4’de gereksinimler doğrultusunda belirlenmiş ölçüt olabilecek özellikler görülmektedir.

Tablo 6.4 Ölçüt olabilecek özelliklerin düzenlenmesi.

ÖLÇÜT OLABİLECEK ÖZELLİKLER		
Enerji Etkinlik İle İlgili	Ekonomik Etkinlik İle İlgili	Kullanıcı Konforu İle İlgili
Isı kayıplarını önlemesi Güneş kontrolü sağlamaası Isi depolama yeteneği Hava sızıntılarını önlemesi Doğal havalandırma sağlamaası Doğal aydınlatma sağlamaası	Yaşam dönemi maliyetinin düşük olması	Konfor koşullarını sağlamaası

6.2.1.7 Performans Ölçütlerinin Belirlenmesi

Performans ölçütleri, seçeneklerin amaca uygunluğunu ölçmek üzere belirlenmektedirler. Bu nedenle, amaçlanan etkinliğin değerlendirilmesinde kullanılacak ölçütlerin seçeneklerden beklenen özellikler doğrultusunda düzenlenmeleri gerekmektedir. Bölüm 3.3’de enerji ve ekonomik etkin cam kabuğun özelliklerine bağlı olarak belirlenen ölçütler; Tablo 6.5’de görüldüğü gibi diğer seçim öğeleri ile aynı strüktürde düzenlenebilmektedirler.

Tablo 6.5 Performans ölçütlerinin düzenlenmesi.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ		
Enerji Etkinlik İle İlgili	Ekonomik Etkinlik İle İlgili	Kullanıcı Konforu İle İlgili
Isı geçirme katsayısı	İlk yatırım maliyeti	İç hava sıcaklığı
Güneş ısı kazanç katsayısı	Enerji maliyeti	İç hava nemliliği
Isı depolama değeri	Bakım-onarım maliyeti	
Hava sızdırganlık oranı		
Hava değişim oranı		
Işık geçirgenlik faktörü		

6.2.1.8. Seçeneklerin Belirlenmesi

En uygun cam kabuk seçeneğinin seçimi için, kullanıcı gereksinimleri ve etmenler doğrultusunda belirlenen seçim ögeleri çerçevesinde olabilecek tüm seçeneklerin ortaya koyulması gerekmektedir. Bu doğrultuda, ölçüt değerlerinin kabuk değişkenlerinin özelliklerine bağlı olarak değişeceği dikkate alınarak seçenekler oluşturulmaktadır. Bu süreçte izlenen yol aşağıda açıklanmaktadır:

- *Kabuk değişkenlerinin belirlenmesi*

Kabuğun enerji ve ekonomik etkinliği, kendisini oluşturan değişkenlerin (bileşen, parça ve malzemeler) özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, kabuk değişkenlerinin belirlenmesi, olabilecek tüm seçeneklerin geliştirilmesinde önem taşımaktadır. Çift cam kabuğu oluşturan bileşenlerin (Bakınız Bölüm 2.5.4) kendisini oluşturan parça ya da malzemelerle ilişkili olarak düzenlendiği Tablo 6.6 yardımı ile seçenekler üretmek mümkün olmaktadır.

- *Alt değişkenlerin belirlenmesi*

Kabuk değişkenlerinin farklı kombinezonları ile oluşturulabilecek seçenekler, bileşen özelliklerine ilişkin alt düzeydeki değişkenlere bağlı olarak da farklılaşmaktadır. Kabuk özelliklerinin değişmesine neden olan bu değişkenler, kabuğun etkinliğini ölçmek üzere belirlenen ölçütleri doğrudan etkilemektedirler [94, s.12]. Bunlar;

- Bileşenin konumu,
- Bileşenin biçimi,
- Bileşenin boyutu,
- Bileşen derzi,
- Bileşenin rengi

Tablo 6.6 Çift cam kabuğu oluşturan bileşen, parça ve malzemeler.

		BİLEŞENLER							
		a. Saydam Panel	b. Opak Panel	c. Havalandırma Boşluğu	d. Güneş Kontrol Elemanı	e. Yürütme Yolu	f. Taşıyıcı Bileşenler	g. Tespit Bileşenleri	h.
PARÇALAR (Pa - Pn)	a. Tek cam plaka	O	O						
	b. Çift cam ünitesi	O							
	c. Taşıyıcı çerçeve	O					O		
	d. Isı yalıtım katmanı		O						
	e.								
	f. Alüminyum levha		O						
	g. Yangın-duman kesici							O	
	h. Ses kesici							O	
	i. Tespit parçaları							O	
	j. Taşıyıcı profiller						O		
	k. Sızdırmazlık parçaları							O	
	l. Jaluzi, stor, perdeler				O				
	m. Döşeme paneli					O	O		
	n.								
MALZEMELER (Ma - Mı)	a. Cam								
	1. Berrak cam	O	O						
	2. Güneş kontrol camı	O							
	3. Düşük yayınlı camlar	O							
	4.								
	b. Alüminyum		O		O	O	O	O	
	c. Çelik					O	O	O	
	d. Plastik				O	O			
	e. Ahşap				O	O	O		
	f. Gazlar								
	1. Hava			O					
	2. Argon			O					
	3. Kripton			O					
	g. Isı ve ses yalıtımı								
	1. Cam yünü		O						
	2.								
	h. Sızdırmazlık Malzemeleri								
	1. Silikon kauçuk	O						O	
	2. Bütil kauçuk	O						O	
	3.								
	ı. Yangın Yalıtımı								
	1. Paslanmaz çelik levha							O	
	2.								

olarak sıralanabilir. Her bir değişken için yapılacak seçime bağlı olarak oluşturulabilecek bileşen seçenekleri ise Tablo 6.7'deki gibi düzenlenebilmektedir.

Konum: Bileşenlerin farklı konumlarına bağlı olarak cam kabuğun ısısal ve optik özellikleri farklılık göstermektedir. Örneğin; çift kabuk cam cephelerde tek ya da çift cam panelin iç ya da dış kabukta kullanılması, güneş kontrol elemanının içte, dışta ya da ortada kullanılması, cephenin ısı kayıp ve kazançlarının değişmesine neden olmaktadır.

Biçim: Kabuğun enerji etkinliği, bileşenin biçimine bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Metal çerçevenin düz, parçalı ya da profilli oluşu, hava sızıntısı nedeniyle oluşan ısı kayıpları üzerinde etkili olmaktadır.

Boyut: Bileşen ya da parçanın kapladığı yüzey alanını belirlemesi nedeniyle, ısısal performans üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Boyutla ilgili değişkenler, cam kalınlığı, cam yüzey alanı, çerçeve boyutu ve boşluk genişliğidir.

Derz: Bileşenleri oluşturan parçalar arasındaki derzler, hava sızıntısı yoluyla oluşan kayıplar üzerinde etkili olmaları nedeniyle kabuğun kayıp ve kazançları üzerinde etkili olmaktadır.

Renk: Kabuğun rengi, güneş ışıınımı nedeniyle oluşan kazançlar üzerinde etkili olmaktadır.

Tablo 6.7 Alt değişkenlere bağlı olarak bileşen seçenekleri.

		KONUM			BİÇİM			BOYUT			DERZ			RENK		
		a. İç tarafta	b. Ortada	c. Dış tarafta	a. Düz	b. Parçalı	c. Profilli	a. En / Boy	b. Kalınlık		a. Açık	b. Kapalı		a. Yansıtıcılık	b. Emicilik	
BİLEŞENLER	a. Saydam Panel	O		O				O	O		O	O		O	O	
	b. Opak Panel	O						O	O			O		O	O	
	c. Havalandırma boşluğu		O						O							
	d. Güneş kontrol elemanı	O	O	O	O	O	O	O	O					O	O	
	e. Yürütme yolu		O		O	O								O	O	
	f. Taşıyıcı Bileşenler	O	O	O	O	O						O				
	g. Tespit Bileşenleri	O	O	O												

- *Kabuk seçeneklerinin oluşturulması*

Alt düzeydeki değişkenlere bağlı olarak belirlenen bileşen seçenekleri ile bileşenleri oluşturan parça ve malzemelerin kombinezonu sonucunda Tablo 6.8 yardımı ile olası tüm kabuk seçenekleri oluşturulabilmektedir.

6.2.2 Modelin Kurulması

Modelin kurulması sürecinde; sorunun düzenlenmesi sürecinde belirlenmiş olan seçeneklerin enerji ve ekonomik etkinliklerinin objektif bir anlayışla değerlendirilmesine imkan tanıyan bir model tasarlanmaktadır. Bu amaçla, değerlendirme için bilgisayar simülasyonu ve yaşam dönemi maliyeti tekniği araç olarak seçilmektedir.

Modelde, Şekil 6.1’de görüldüğü gibi seçeneklerin enerji ve ekonomik etkinliklerinin değerlendirilebilmesi başlıca iki analiz sonucunda mümkün olmaktadır:

- Seçeneklerin enerji yüklerinin analizi,
- Seçeneklerin yaşam dönemi maliyetlerinin analizi.

Her iki analizde cam kabuk seçenekleri, etki eden etmenlere ve kabuk değişkenlerinin özelliklerine (konum, biçim, boyut, derz, renk, malzeme) bağlı olarak incelenmektedir. Bu çerçevede; değişken özelliklerinin enerji tüketimine ve toplam maliyete olan etkilerinin değerlendirilmesi ile, amaçlanan etkinlik açısından uygun malzeme ve bileşen tiplerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, benzer özellikteki seçeneklerin gruplandırılması ve her grubun kendi içinde incelendikten sonra diğer gruplar ile karşılaştırılması uygun bir yol olarak görülmektedir. Söz konusu gruplar bileşenlerle yapılabilecek farklı düzenlemelere, farklı boyutta ve biçimde bileşen kullanımına, malzeme tipine ya da bazı bileşenlerin var olup olmamasına bağlı olarak oluşturulabilmektedirler. Karşılaştırmalarda; istenen etkinlikler doğrultusunda seçeneğin gösterdiği başarı (ısıtma / soğutma enerjisi tüketiminin ve toplam yaşam dönemi maliyetinin minimum olması) esas alınmaktadır.

Tablo 6.8 Kabuk Seçeneklerinin Belirlenmesi.

BİLEŞENLER	KONUM	BİÇİM	BOYUT	DERZ	RENK	PARÇALAR (Pa - Pn)	MALZEMELER (Ma - Mi)
a. Saydam Panel	a. İç tarafta	a. Düz	a. En / Boy	a. Açık	a. Yansıtıcılık	a. Tek cam plaka	a. Cam
b. Opak Panel	b. Ortada	b. Parçalı	b. Kalınlık	b. Kapalı	b. Emicilik	b. Taşıyıcı çerçeve	b. Alüminyum
c. Havalandırma boşluğu	c. Dış tarafta	c. Profilli				c. Taşıyıcı katman	c. Çelik
d. Güneş kontrol elemanı						d. Isı yalıtım katmanı	d. Plastik
e. Yürüme Yolu						e.	e. Ahşap
f. Taşıyıcı Bileşenler						f. Alüminyum levha	f. Gazlar
g. Tespit Bileşenleri						g. Yangın-duman kesici	g. Isı ve ses yalıtım malzemeleri
						h. Ses kesici	h. Sızdırmazlık malzemeleri
						i. Tespit parçaları	
						j. Taşıyıcı profiller	
						k. Sızdırmazlık parçaları	
						l. Jalu, stor, perdeler	
						m. Döşeme paneli	
						n.	1. Yangın yalıtım malzemesi

6.2.2.1 Seçeneklerin Enerji Yüklerinin Analizi ve Değerlendirilmesi

Enerji yükü analizi, ölçütler doğrultusunda geliştirilen kabuk seçeneklerinin ısı kayıp ve kazançlarından kaynaklanan enerji tüketimlerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Analizde, iç ısı kaynakları (insanlar, aydınlatma cihazları, elektrikle çalışan aletler) ile gün ışığından kaynaklanan enerji tüketimleri dikkate alınmamaktadır. Şekil 6.2’de bu amaca ulaşmada izlenen analiz süreci görülmektedir.

Şemada da görüldüğü gibi, enerji yükü analizi üç aşamada sonuçlanmaktadır:

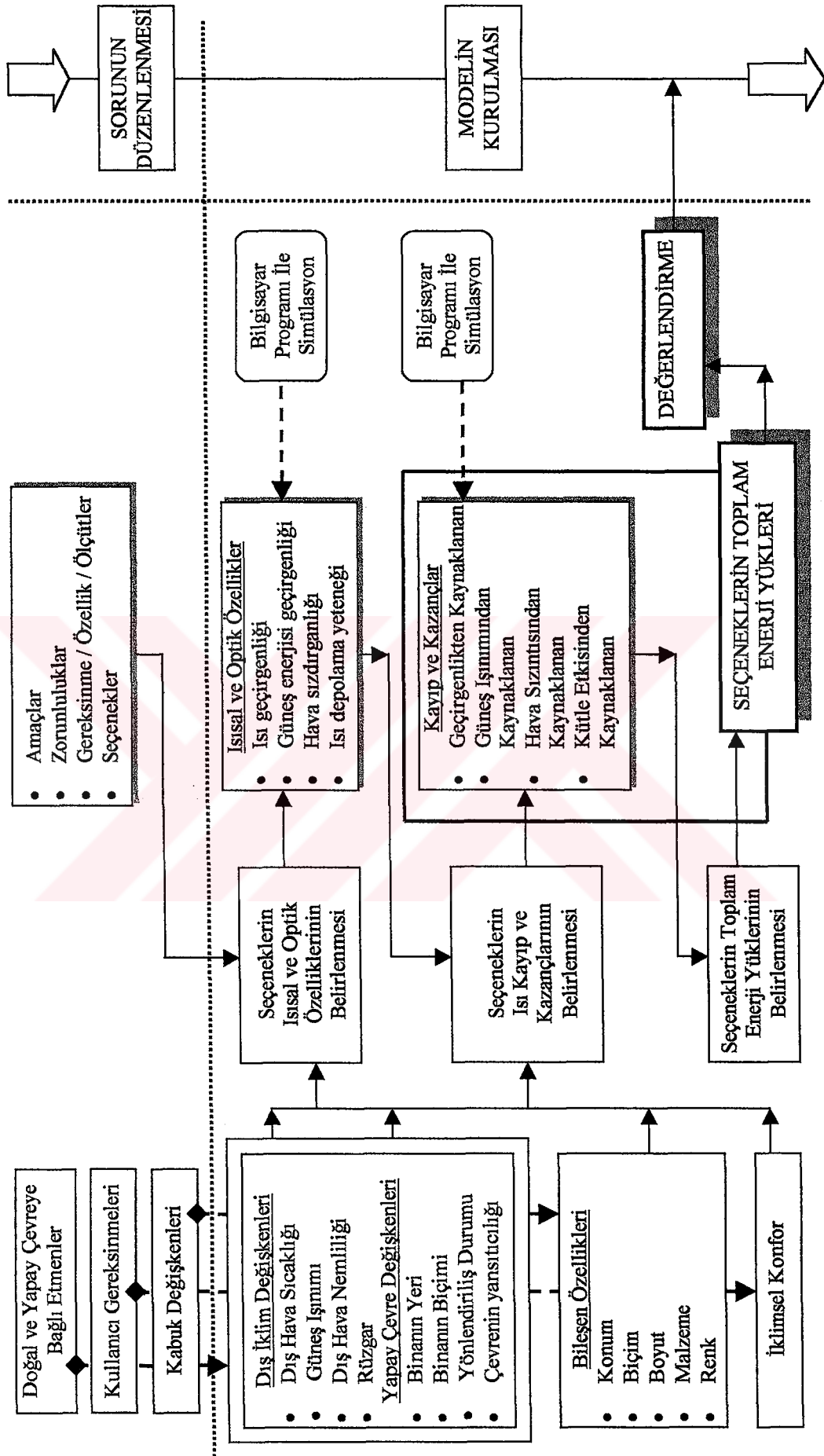
- Seçeneklerin ısısal ve optik özelliklerinin belirlenmesi,
 - Seçeneklerin ısı kayıp ve kazançlarının belirlenmesi,
 - Seçeneklerin toplam enerji yüklerinin belirlenmesi.
-
- ***Seçeneklerin ısısal ve optik özelliklerinin belirlenmesi***

Kabuk seçeneklerinin ısısal ve optik özellikleri, dış etmenler (dış iklim ve yapay çevre değişkenleri) ile cam kabuk bileşenlerinin özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Dış etmenler, belirlenen amaçlar doğrultusunda bileşenler için uygun malzemelerin seçilmesi ya da kabuk tasarımında önlemler alınması yoluyla kontrol altına alınabilmektedirler (Bakınız Bölüm 4.2). Bu nedenle, kabuk seçeneklerinin ısısal ve optik özelliklerinin belirlenebilmesi için, bu değişkenlere ilişkin hesap değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Cam cephe bileşenlerinin özellikleri ise, daha önce de belirtildiği gibi, kabuğun ısısal ve optik özelliklerini doğrudan etkileyerek ısı kayıp ve kazançlarının değişmesine neden olmaktadır. Bunlar, cam kabuğu oluşturan saydam ve opak panelin, taşıyıcı bileşenlerin, tespit bileşenlerinin, boşluğun ve güneş kontrol elemanının malzemesine, konumuna, boyutuna, biçimine, derzine ve rengine ilişkin özelliklerdir. Bileşen özelliklerinin, seçeneklerin ısısal ve optik özelliklerinin değişimini ne ölçüde etkilediği duyarlılık (sensivity) analizleri ile incelenebilmektedir.

Dış etmenlere ve cephe bileşenlerinin özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösteren ve cam kabuğun enerji etkinliğine etki eden ısısal ve optik özellikleri;



Şekil 6.2 Seçeneklerin enerji yüklerinin analizi ve değerlendirilmesi.

- Isı geçirgenliği,
- Güneş enerjisi geçirgenliği,
- Hava sızdırganlığı,
- Isı depolama yeteneği

olarak belirlemek mümkündür. Bu özelliklerin; seçeneklerin enerji etkinliklerinin değerlendirilebilmesi amacıyla, bileşenlerin (saydam panel, opak panel, güneş kontrol elemanı ve ara boşluk gibi) konumlarına, boyutlarına (camın kalınlığı, ara boşluğun, çerçevenin ve güneş kontrol elemanının genişliği gibi), derzine, rengine, parça ve malzemesine (camın güneş enerjisini geçirme, güneş enerjisini dışa-ıçe yansıtma, görünür geçirgenlik, görünür yansıtıcılık ve yayınım özellikleri, çerçevenin ısı geçirme katsayısı, güneş kontrol elemanının güneş enerjisi geçirgenliği ve yayınım özelliği gibi) bağlı olarak belirlenmeleri gerekmektedir. Söz konusu özelliklerden ısı geçirgenliğine ve güneş enerjisi geçirgenliğine ait hesap değerlerinin belirlenmesinde, Avrupa Komisyonu desteğinde TNO Building and Construction Research Department (Delft, Hollanda) tarafından koordine edilen JOULE II Programı çerçevesinde geliştirilen WIS (Advanced Windows Information System) programı araç olarak seçilmiştir (Bakınız Ek A.1).

• ***Seçeneklerin ısı kayıp ve kazançlarının belirlenmesi***

Seçeneklerin ısı kayıp ve kazançlarının belirlenebilmesi için; kabuğun ısısal ve optik özelliklerinin dışında bina ve çevresine ilişkin değişkenlerin (geometrik özellikler, bina işlevi, bina yeri, çevre binaların uzaklığı, zeminin güneş ışıınımı yansıtıcılığı gibi) ve HVAC sistemine ilişkin özelliklerin (sistemin tipi, kullandığı enerji tipi gibi) etkileri de dikkate alınmaktadır. Söz konusu özelliklerin ve değişkenlerin dikkate alınması ile kabuk seçeneklerinin ısı kayıp ve kazançlarını;

- Geçirgenlikten,
- Güneş ışıınımından,
- Hava sızıntısından,
- Kütle etkisinden

kaynaklanmalarına bağlı olarak dört grupta toplamak mümkündür. Bu kayıp ve kazançların belirlenmesi için, Texas A&M Üniversitesi Mimarlık Fakültesi tarafından geliştirilen ENER-WIN (The Windows Version of Energy Calculations for Buildings) bilgisayar programı araç olarak seçilmiştir (Bakınız Ek A.2).

Geçirgenlik yoluyla oluşan kayıp ya da kazançlar, ısı geçişlerinin etkisi ile oluşmakta ve cam kabuğun ısı geçirgenlik direncine, iç - dış yüzeyi arasındaki ısı farklılıklarına ve yüzey alanına bağlı olarak değişmektedirler. Bu nedenle, bu kayıpların farklı ısısal ve optik özelliklere sahip kabuk seçenekleri için ne şekilde değişkenlik gösterdiğinin analiz edilmesi gerekmektedir.

Hava sızıntısı yoluyla oluşan kayıp ya da kazançlar; rüzgar ve iç - dış ortam arasındaki sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak cam kabuğun hava sızdırması sonucu oluşmaktadır. Bu kayıplar, kabuğu oluşturan bileşenler arasındaki derzlerin uzunluğuna ve hava sızdırganlık oranına bağlı olarak ısıtma ve soğutma yüklerinin belirlenmesinde dikkate alınmaktadır.

Güneş ışınlamından kaynaklanan kazançlar; cam kabuğun malzemesine, yüzey alanına, güneş ışınlamı miktarına ve güneş ışınlamının geliş açısına bağlı olarak değişiklik göstermektedirler. Bu değişiklik, seçeneklerin soğutma yükleri üzerinde etkili olarak enerji tüketimlerinin farklılaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, enerji tüketimine bağlı olarak yapılacak değerlendirmede dikkate alınmaktadır.

Kütle etkisinden kaynaklanan kayıp ya da kazançlar, kabuğun ısı depolayabilme yeteneğine bağlı olarak değişmektedir. Cam kabuğun ısı depolamasında; camın güneş enerjisi geçirgenliği ve yayılım özelliği etkili olmaktadır.

- ***Seçeneklerin toplam enerji yüklerinin belirlenmesi***

Seçeneklerin enerji yüklerinin değerlendirilebilmesi için, yukarıda sıralanan ısı kayıp ve kazançlarının toplam enerji yükü içindeki miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, her bir seçeneğin söz konusu kayıp / kazançlara bağlı olarak yıllık ısıtma ve soğutma yükleri ile yıllık enerji yükleri belirlenmektedir.

$$E_I = E_{II} + E_{IG} + E_{IH} + E_{IK} \quad (6.1)$$

$$E_S = E_{SI} + E_{SG} + E_{SH} + E_{SK} \quad (6.2)$$

$$E_Y = E_I + E_S \quad (6.3)$$

E_Y : Yıllık enerji yükü.

E_I, E_S : Yıllık ısıtma ve soğutma yükleri.

E_{II}, E_{SI} : İletkenlik yoluyla oluşan ısıtma ve soğutma yükleri.

E_{IG}, E_{SG} : Güneş ışınlamı yoluyla oluşan ısıtma ve soğutma yükleri.

E_{IH}, E_{SH} : Hava sızıntısı yoluyla oluşan ısıtma ve soğutma yükleri.

E_{IK}, E_{SK} : Kütle etkisinden kaynaklanan ısıtma ve soğutma yükleri.

Yıllık enerji yüklerinin analiz edilmesi sonucunda elde edilen sonuçlardan yararlanılarak, seçeneklerin enerji etkinlik açısından değerlendirilmeleri mümkün olmaktadır. Bu amaçla, enerji yüklerine ve ısıtma - soğutma sistemlerinin etkinliğine bağlı olarak enerji tüketimi değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$E_{IT} = E_I / i \quad (6.4)$$

$$E_{ST} = E_S / s \quad (6.5)$$

$$E_{TT} = E_{IT} + E_{ST} \quad (6.6)$$

E_{TT} : Yıllık enerji tüketimi.

E_{IT}, E_{ST} : Yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri.

i, s : Isıtma ve soğutma sistemlerinin etkinlikleri (%).

Karşılaştırmalarda bu değerler, birim döşeme alanına (m^2) göre belirlenen tüketim değerleri (kWh/m^2) olarak kullanılmaktadır. Değerlendirme sonucunda; yıllık enerji tüketimi açısından en etkin olan seçenek belirlenmektedir. Ancak enerji tüketimi açısından etkin olan bu seçeneğin, toplam maliyet açısından etkin olması gerekmemektedir. Bunun nedeni, toplam maliyet değerinin sadece enerji yükü maliyetini değil, ilk yatırım ve bakım - onarım maliyetlerini de kapsamasıdır. Bu doğrultuda, seçeneklerin yaşam dönemi maliyetlerinin ayrıca analiz edilmesi gerekmektedir.

6.2.2.2 Seçeneklerin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Analizi ve Değerlendirilmesi

Amaçlanan maliyet analizi için, yaşam dönemi maliyet modeli araç olarak seçilmektedir. Bu analiz ile; cephenin yapım ve kullanım süreçlerindeki toplam maliyetinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Söz konusu model, kabuk seçeneklerinin yaşam dönemi içindeki enerji maliyetlerinin, ilk yatırım maliyetlerinin ve bakım – onarım maliyetlerinin birlikte değerlendirilmesine imkan tanımaktadır.

Cam kabukta oluşan ısı kayıp ya da kazançlarına bağlı olarak, ısıtma ve soğutma için gereken enerji tüketimleri değişmekte ve bu değişim ısıtma - soğutma maliyetlerinde farklılıklara neden olmaktadır. Diğer yandan, enerji kayıp ve kazançlarını azaltmak amacıyla ilave bileşen ya da farklı malzeme kullanılması ile temizlik, bakım ve

onarım ile ilgili işler için gerekli olan paranın da, seçeneklerin toplam yaşam dönemi maliyetlerinin belirlenmesinde dikkate alınması gerekmektedir.

Şekil 6.3’de görüldüğü gibi, kabuk seçeneklerinin ekonomik analizi aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir:

- Yaşam dönemi içindeki enerji maliyetlerinin belirlenmesi,
- İlk yatırım maliyetlerinin belirlenmesi,
- Bakım – onarım maliyetlerinin belirlenmesi,
- Toplam yaşam dönemi maliyetlerinin belirlenmesi.

• ***Yaşam dönemi içindeki enerji maliyetlerinin belirlenmesi***

Seçeneklerin yaşam dönemi içindeki enerji maliyetlerinin belirlenmesi için; ısı kaybı ve kazançlarından kaynaklanan enerji tüketimi maliyetlerinin hesaplanması ve cephenin varsayılan yaşam dönemine bağlı olarak bugünkü değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla, seçeneklerin enerji maliyetlerinin belirlenmesinde;

Isıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri,

Isıtma ve soğutma enerjisi birim maliyetleri

dikkate alınmakta ve hesaplarda aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

$$M_I = E_{IT} \times M_{BI} \quad (6.7)$$

$$M_S = E_{ST} \times M_{BS} \quad (6.8)$$

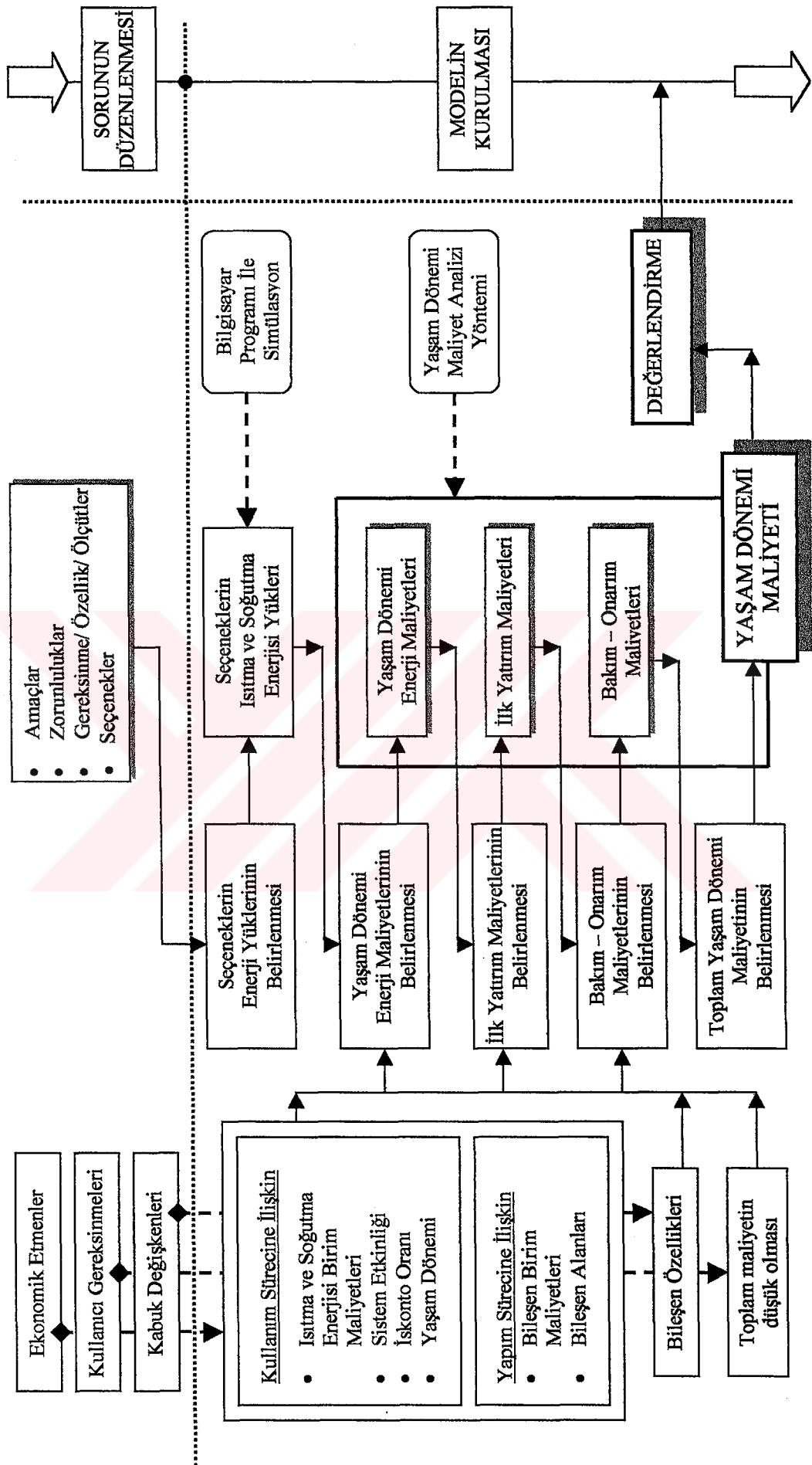
M_I : Yıllık ısıtma maliyeti.

M_S : Yıllık soğutma maliyeti.

M_{BI} : Isıtma enerjisi birim maliyeti.

M_{BS} : Soğutma enerjisi birim maliyeti.

Hesaplanan ısıtma ve soğutma maliyetleri, yıllık ısı kaybı ve kazançlarına bağlı olarak belirlenen maliyetlerdir. Bunlar cephenin varsayılan yaşam dönemi boyunca ödenmesi gereken değerlerdir. Bu nedenle, gelecekte ödenmesi gereken enerji maliyetlerinin bugünkü değerlere dönüştürülmesini sağlayan iskonto oranını ve yaşam dönemini dikkate alan bugünkü değer faktörü (BDF) ile çarpılmaktadırlar [95, s.47]:



Şekil 6.3 Seçeneklerin yaşam dönemi maliyetlerinin analizi ve değerlendirilmesi.

$$M_{IB} = M_I \times BDF \quad (6.9)$$

$$M_{SB} = M_S \times BDF \quad (6.10)$$

$$BDF = \frac{1}{(1+r)^n}$$

BDF : Bugünkü değer faktörü.

r : İskonto oranı (%).

n : Yaşam dönemi (yıl).

M_{IB} : Yıllık ısıtma maliyetinin bugünkü değeri.

M_{SB} : Yıllık soğutma maliyetinin bugünkü değeri.

Ancak bu denklem ödemenin sadece bir kez yapıldığı durumlar için geçerlidir. Oysaki enerji maliyetleri her yıl düzenli olarak ödenmesi gereken değerlerdir. Bu değerlerin değişmeden kaldıkları varsayılarak, yaşam dönemi içindeki ısıtma ve soğutma enerjisi maliyetleri ile toplam enerji maliyetleri aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$M_{YIB} = M_I \times \frac{1}{(1+r)^1} + M_I \times \frac{1}{(1+r)^2} + \dots + M_I \times \frac{1}{(1+r)^n}$$

$$M_{YIB} = M_I \times \sum_{n=1}^t \frac{1}{(1+r)^n} \quad (6.11)$$

$$M_{YSB} = M_S \times \sum_{n=1}^t \frac{1}{(1+r)^n} \quad (6.12)$$

$$M_{TYB} = M_{YIB} + M_{YSB} \quad (6.13)$$

M_{YIB} : Toplam yaşam dönemi ısıtma maliyetinin bugünkü değeri.

M_{YSB} : Toplam yaşam dönemi soğutma maliyetinin bugünkü değeri.

M_{TYB} : Toplam yaşam dönemi enerji maliyetinin bugünkü değeri.

• **Seçeneklerin ilk yatırım maliyetlerinin belirlenmesi**

Seçeneklerin ilk yatırım maliyetleri, cam kabuğu oluşturan bileşenlerin m² analizlerinin yapılması ve m² başına işçilik + araç + malzeme maliyetlerinin belirlenmesi ile hesaplanabilmektedir. Hesaplarda Denklem 6.14'den yararlanılmaktadır.

$$M_Y = A_1 \times M_1 + A_2 \times M_2 + A_3 \times M_3 + \dots + A_m \times M_m$$

$$M_Y = \sum_{m=1}^t (A_m \times M_m) \quad (6.14)$$

M_Y : İlk yatırım maliyeti.

m : Bileşen sayısı.

$A_1 - A_m$: Cam cepheyi oluşturan bileşenlerin alanları.

$M_1 - M_m$: Bileşenlerin m²'si başına işçilik + araç + malzeme maliyetleri.

• **Seçeneklerin bakım – onarım maliyetlerinin belirlenmesi**

Bakım – onarım maliyetleri temizlik maliyetlerini ve belli zamanlarda kabuk değişkenlerinin onarımı için yapılacak bakım masraflarını kapsamaktadır. Bu değerlerin, mevcut cam cepheli binalar için dzenlenmiş verilere göre belirlenmeleri ve enerji maliyetlerinin belirlenmesinde izlenen adımlarda olduğu gibi bugünkü değerlere dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bu doğrultuda, dönüştürme işlemlerinde aşağıdaki denklemlerden yararlanılmaktadır:

$$M_{YTB} = M_T \times \frac{1}{(1+r)^1} + M_T \times \frac{1}{(1+r)^2} + \dots + M_T \times \frac{1}{(1+r)^n}$$

$$M_{YTB} = M_T \times \sum_{n=1}^t \frac{1}{(1+r)^n} \quad (6.15)$$

M_T : Yıllık temizlik maliyetleri.

M_{YTB} : Yaşam dönemi temizlik maliyetlerinin bugünkü değeri.

$$M_{OB} = M_{O1} \times BDF + M_{O2} \times BDF + \dots + M_{Oz} \times BDF \quad (6.16)$$

$M_{O1} - M_{Oz}$: Belli dönemlerde yapılacak onarım maliyetleri.

M_{OB} : Yaşam dönemi onarım maliyetlerinin bugünkü değeri.

$$M_{TBB} = M_{YTB} + M_{OB} \quad (6.17)$$

M_{TBB} : Toplam yaşam dönemi bakım – onarım maliyetlerinin bugünkü değeri..

- ***Seçeneklerin toplam yaşam dönemi maliyetlerinin belirlenmesi***

Seçeneklerin toplam yaşam dönemi maliyetlerinin hesabında, ilk yatırım maliyetlerini ve yaşam dönemi enerji maliyetleri ile yaşam dönemi bakım – onarım maliyetlerinin bugünkü değerlerini hesaba katan aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$TYDM = M_Y + M_{TYB} + M_{TBB} \quad (6.18)$$

TYDM: Toplam yaşam dönemi maliyeti.

M_Y : İlk yatırım maliyeti.

M_{TYB} : Toplam yaşam dönemi enerji maliyetinin bugünkü değeri.

M_{TBB} : Toplam yaşam dönemi bakım – onarım maliyetlerinin bugünkü değeri.

Maliyet analizi sonucunda elde edilen değerlerden yararlanılarak, seçeneklerin ilk yatırım, enerji ve bakım – onarım maliyetlerinin toplam yaşam dönemi maliyeti içindeki oranlarının belirlenmesi ve sonuçların grafiklerle ifade edilmesi mümkün olmaktadır. Bu grafiklerde de, enerji yükü analizlerinde olduğu gibi benzer özellik gösteren seçenekler gruplandırılarak her grup içindeki en etkin seçenek belirlenmektedir. Örneğin, seçeneklerin farklı camlarla oluşturulmasına bağlı olarak yapılan değerlendirme sonucunda, cam tiplerinin ilk yatırım ve enerji maliyetleri üzerindeki etkileri belirlenebilmektedir. Aynı şekilde, her grup içindeki en etkin seçeneklerin birbirleri ile karşılaştırılması sonucu, bileşen konumunun maliyet üzerindeki etkilerinin belirlenmesi de mümkün olmaktadır.

6.2.3 Sorunun Çözümü (Karşılaştırma ve Seçim)

Sorunun çözümü sürecinde; amaçlar, zorunluluklar, gereksinimler ve ölçütler doğrultusunda geliştirilen kabuk seçeneklerinin, enerji yükü ve yaşam dönemi

maliyeti analizleri sonucunda elde edilen değerlerden yararlanılarak ülke açısından enerji tüketimi minimum olan en faydalı seçenek ile bina sahibi açısından toplam maliyeti minimum olan en karlı seçenek karşılaştırma yoluyla belirlenebilmektedir.

Karşılaştırmalarda; enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyeti en fazla olan seçeneklerin hiç fayda sağlamayacakları varsayılarak etkinliklerinin sıfır olduğu kabul edilmektedir. Bu doğrultuda; diğer seçeneklerin en az etkin seçeneklere oranla ne kadar etkin oldukları belirlenerek etkinlik yüzdesi en fazla olan seçenek en faydalı seçenek olarak belirlenmektedir. Bu durumda;

- *Ülke açısından enerji etkin olan seçenek;* kaynakları (elektrik ve doğal gaz gibi) minimum ölçüde kullanan ve dolayısıyla enerji tüketimi minimum olan seçenektir. Bu seçeneğin seçimi için; seçeneklerin ısıtma / soğutma yüklerine ve ısıtma / soğutma sistemlerinin etkinliklerine bağlı olarak Denklem 6.1 – 6.6 doğrultusunda enerji tüketimleri belirlenmekte ve en fazla etkinlik yüzdesine sahip olan seçenek enerji etkinlik açısından en faydalı seçenek olarak kabul edilmektedir.
- *Bina sahibi açısından ekonomik etkin olan seçenek ise,* toplam yaşam dönemi maliyeti minimum olan seçenektir. Denklem 6.7 – 6.18'e göre hesaplanan toplam yaşam dönemi maliyetlerine bağlı olarak belirlenen etkinlik yüzdelерinin karşılaştırılması sonucu, ekonomik açıdan en karlı olan seçenek seçilebilmektedir.

Seçeneklerin enerji tüketimleri ile yaşam dönemi maliyetlerinin belirlenmesi ve etkinlik yüzdelерinin karşılaştırılması yoluyla yapılan seçimde yer alan işlemler bütünü, yaklaşımda izlenen adımlara göre numaralandırılarak Tablo 6.9'da görüldüğü gibi düzenlenebilmektedir.

6.2.4 Uygunluk Kontrolü

Çift kabuk cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla önerilen modelin kullanılabilirliğinin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yedinci bölümde enerji tüketiminin ve toplam maliyetin minimum olduğu seçeneklerin belirlenmesine yönelik bir uygulama yapılmaktadır.

SEÇENEKLER

S_1		S_2		S_n	
1 $E_{T1} = E_{I1} + E_{G1} + E_{H1} + E_{K1}$	4 $E_{T11} = E_{S1} / i$	1 $E_{T2} = E_{I2} + E_{G2} + E_{H2} + E_{K2}$	4 $E_{T12} = E_{S2} / i$	1 $E_{Tn} = E_{In} + E_{Gn} + E_{Hn} + E_{Kn}$	4 $E_{Tn} = E_{In} / i$
2 $E_{S1} = E_{S1} + E_{SG1} + E_{SH1} + E_{SK1}$	5 $E_{S11} = E_{S1} / s$	2 $E_{S2} = E_{S1} + E_{SG2} + E_{SH2} + E_{SK2}$	5 $E_{S12} = E_{S2} / s$	2 $E_{Sn} = E_{S1} + E_{SGn} + E_{SHn} + E_{SKn}$	5 $E_{Sn} = E_{Sn} / s$
3 $E_{Y1} = E_{I1} + E_{S1}$	6 $E_{T11} = E_{T11} + E_{S11}$	3 $E_{Y2} = E_{I2} + E_{S2}$	6 $E_{T12} = E_{T12} + E_{S12}$	3 $E_{Yn} = E_{In} + E_{S1n}$	6 $E_{Tn} = E_{Tn} + E_{S1n}$

$E_1 (\%)$

↓

$E_2 (\%)$

↓

$E_n (\%)$

↓

ENERJİ ETKİNLİK

S_1		S_2		S_n	
7 $M_{I1} = E_{T11} \times M_{I11}$	10 $M_{S11} = E_{S11} \times BDF$	7 $M_{I2} = E_{T12} \times M_{I11}$	10 $M_{S12} = E_{S12} \times BDF$	7 $M_{In} = E_{T1n} \times M_{I11}$	10 $M_{S1n} = E_{S1n} \times BDF$
8 $M_{S1} = E_{S11} \times M_{I11}$	11 $M_{Y11} = M_{I11}$	8 $M_{S2} = E_{S12} \times M_{I11}$	11 $M_{Y12} = M_{I11}$	8 $M_{S1n} = E_{S1n} \times M_{I11}$	11 $M_{Y1n} = M_{I11}$
9 $M_{B1} = M_{I1} \times BDF$	12 $M_{YB1} = M_{I1}$	9 $M_{B2} = M_{I2} \times BDF$	12 $M_{YB2} = M_{I2}$	9 $M_{B1n} = M_{In} \times BDF$	12 $M_{YB1n} = M_{In}$
13 $M_{IYB1} = M_{YB1} + M_{YB1}$	13 $M_{IYB2} = M_{YB2} + M_{YB2}$	13 $M_{IYBn} = M_{YBn} + M_{YBn}$	13 $M_{IYBn} = M_{YBn} + M_{YBn}$	13 $M_{IYBn} = M_{YBn} + M_{YBn}$	13 $M_{IYBn} = M_{YBn} + M_{YBn}$
14 $M_{Y1} = M_{IYB1}$	16 $M_{O1} = M_{IYB1}$	14 $M_{Y2} = M_{IYB2}$	16 $M_{O2} = M_{IYB2}$	14 $M_{Yn} = M_{IYBn}$	16 $M_{On} = M_{IYBn}$
17 $M_{T11} = M_{Y11} + M_{O11}$	17 $M_{T11} = M_{Y11} + M_{O11}$	17 $M_{T12} = M_{Y12} + M_{O12}$	17 $M_{T12} = M_{Y12} + M_{O12}$	17 $M_{T1n} = M_{Y1n} + M_{O1n}$	17 $M_{T1n} = M_{Y1n} + M_{O1n}$
18 $TYDM_1 = M_{T11} + M_{Y1} + M_{T11}$	18 $TYDM_2 = M_{T12} + M_{Y2} + M_{T12}$	18 $TYDM_n = M_{T1n} + M_{Yn} + M_{T1n}$	18 $TYDM_n = M_{T1n} + M_{Yn} + M_{T1n}$	18 $TYDM_n = M_{T1n} + M_{Yn} + M_{T1n}$	18 $TYDM_n = M_{T1n} + M_{Yn} + M_{T1n}$

$E_1 (\%)$

↓

$E_2 (\%)$

↓

$E_n (\%)$

↓

EKONOMİK ETKİNLİK

AMACLAR

ENERJİ ETKİNLİK

E_{max} (%)

EKONOMİK ETKİNLİK

E_{max} (%)

6.3 Sonuç

Bu bölümde, çift kabuk cam cephenin ülke ve bina sahibi açısından enerji ve ekonomik etkinliğinin objektif olarak değerlendirilebilmesi amacıyla bir yaklaşım yapılmaktadır. Sonuca ulaşmak için;

- Etki eden etmenler, amaçlar, zorunluluklar, gereksinimler ve ölçütler doğrultusunda cepheden beklenen etkinliği sağlayabilecek seçeneklerin oluşturulması,
- Bu seçeneklerin enerji tüketimlerinin ve toplam yaşam dönemi maliyetlerinin belirlenmesi,
- Seçeneklerin enerji ve ekonomik etkinliklerinin bileşen özelliklerine bağlı olarak değerlendirilmesi,
- Seçeneklerinin etkinliklerinin karşılaştırılması yoluyla seçim yapılması

önerilmektedir. Burada bir seçim problemi söz konusu olduğundan, sonuca ulaşmak için bir karar verme - seçim yapma yöntemi olan yöneylem araştırmasının izlediği yoldan hareket edilmektedir.

Yaklaşım; etmenler ve kullanıcı gereksinimleri ile seçim öğeleri (amaçlar, zorunluluklar, gereksinimler, özellikler ve ölçütler) doğrultusunda oluşturulan seçenekler içinden,

Ülke kaynaklarının optimum kullanımı açısından enerji etkin seçeneğin,

Bina sahibi açısından ekonomik etkin seçeneğin,

Enerji ve ekonomik etkinlik açısından uygun bileşen özelliklerinin

belirlenmesine imkan tanımaktadır.

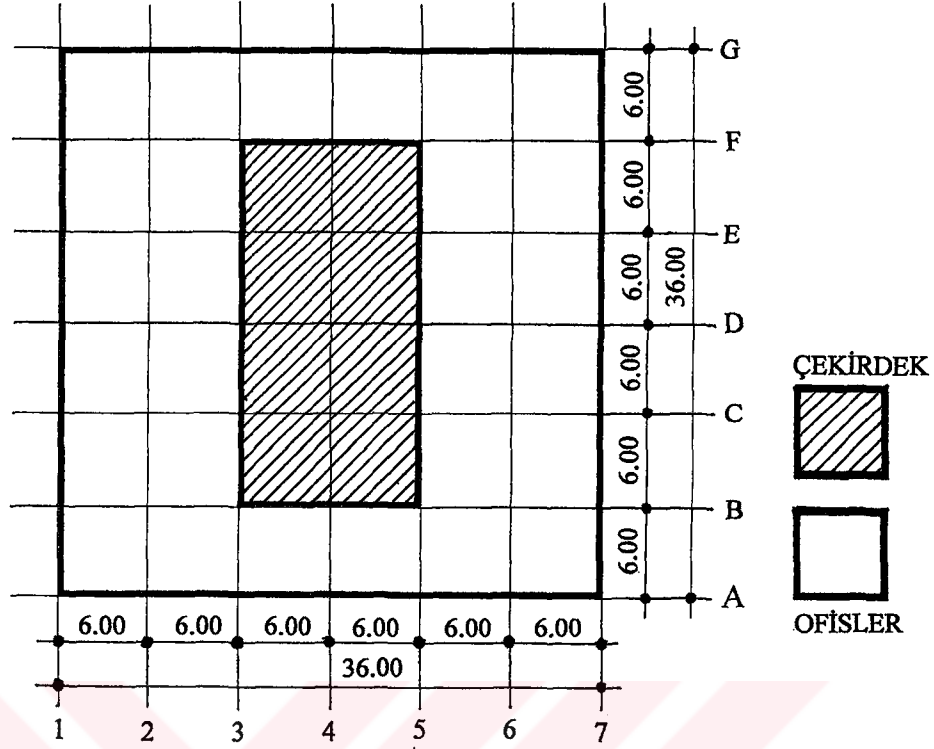
7. YAKLAŞIMIN İSTANBUL'DAKİ BİR OFİS BİNASININ CEPHESİ İÇİN UYGULANMASI

Bu bölümde, çift kabuk cam cephelerin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla önerilen yaklaşımın uygunluğunu kontrol etmek üzere bir uygulama yapılmaktadır.

Uygulamada; çift kabuk cam cephelerin enerji ve ekonomik etkinliğinin, bileşenlerinin alabileceği farklı konumlara, malzeme özelliklerine ve güneş kontrol elemanı kullanımına bağlı olarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak bu sistemlerin amaçlanan etkinlik açısından ülkemiz için uygulanabilirliğinin saptanabilmesi amacıyla, tek kabuk cam cephe seçenekleri de uygulamada yer almaktadır.

Farklı plan tipine ve boyutuna sahip binalarda söz konusu etkinliğin değişiklik göstereceği dikkate alınarak, Şekil 7.1'de görülen plan tipi için simülasyon yapılmaktadır. Yapılacak analiz için seçilen binaya ilişkin veriler aşağıda verilmektedir:

Bina Türü	: Ofis binası.
Binanın Boyutları	: 36.00m. x 36.00m.
Bina Alanı	: 1296 m ² .
Kat Sayısı	: 30.
Kat Yüksekliği	: 3.30m.
Isıtma enerjisi	: Doğal gaz.
Soğutma enerjisi	: Elektrik.
Tek Kabuk Cephe	: Strüktürel silikonlu cephe.
Çift Kabuk Cephe	: Dış Kabuk: Transparan cephe. İç Kabuk: Strüktürel Silikonlu Cam Cephe.



Şekil 7.1 Simülasyonda Kullanılan Ofis Binasının Şematik Planı.

7.1 Çevresel Etmenlerin Belirlenmesi

Cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğine etki eden çevresel etmenler; dış etmenler, iç etmenler ve ekonomik etmenlerdir (Bakınız Bölüm 3). Önerilen yaklaşım ile cephenin etkinliğinin objektif olarak değerlendirilebilmesi için, bu etmenlere ilişkin hesap değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Hesap değerleri seçeneklerin enerji ve ekonomik etkinliklerinin analiz edildiği simülasyonlarda kullanılmaktadır.

- Dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, güneş ışıınımı ve rüzgardan oluşan dış etmenlere ilişkin hesap değerleri, İstanbul için hazırlanan *Saatlik Meteorolojik Yıl Dosyası*'ndan elde edilmektedir [91, s.6.15-18]. Programda kullanmak üzere, söz konusu etmenlere ilişkin hesap değerlerinden yararlanılarak oluşturulan iklimsel veri tablosu aşağıda görülmektedir.

Tablo 7.1 Programda kullanılan iklimsel veriler.

	AYLIK ORTALAMALAR					STANDART SAPMALAR		
	Kuru Hava Sıcaklığı°C	Çiğlenme Noktası Sıcaklığı°C	Direkt Radyasyon kJ/m2	Rüzgar Hızı m/s	Maksimum Kuru Hava Sıcaklığı°C	Kuru Hava Sıcaklığı°C	Çiğlenme Noktası Sıcaklığı°C	Maksimum Kuru Hava Sıcaklığı°C
Ocak	5.65	2.61	394.73	3.71	8.09	4.16	3.96	4.61
Şubat	6.28	2.20	641.95	2.53	9.11	3.50	3.38	3.91
Mart	7.32	3.20	469.98	2.15	10.32	3.88	2.58	4.96
Nisan	12.66	6.62	803.76	1.80	16.82	3.60	1.90	4.93
Mayıs	15.84	10.89	1003.37	2.34	19.99	2.81	3.09	3.19
Haziran	21.02	15.46	1170.72	2.29	25.45	2.64	2.09	3.27
Temmuz	23.36	18.15	1447.13	3.05	27.71	0.93	1.78	1.79
Ağustos	23.27	16.68	1349.20	3.50	27.68	1.37	1.63	1.92
Eylül	20.20	15.11	1220.34	2.48	25.00	1.63	1.96	2.68
Ekim	14.64	10.97	825.65	2.59	17.68	2.39	1.52	3.06
Kasım	10.05	5.63	372.06	2.12	12.50	3.13	3.75	3.31
Aralık	7.32	2.48	541.33	2.09	9.87	1.68	2.19	2.14

- Simülasyon için; yapma çevre değişkenlerinden bina kabuğunun özellikleri değişken olarak kabul edilmekte, diğerlerinin sabit olduğu varsayılmaktadır. Kabuğun özelliklerine ilişkin veriler, daha sonraki aşamalarda belirlenecektir. Sabit olarak kabul edilen yapma çevre değişkenlerine ilişkin verilerin ise aşağıdaki gibi oldukları varsayılmaktadır:

Binanın yeri : İstanbul, Göztepe
Enlem: 41 kuzey Boylam: 28 doğu
Denizden Yükseklik: 39.00 m.

Biçimi : Kare
Bina aralıkları : Etrafındaki binaların uzakta oldukları varsayılmaktadır.

- İç etmenlere ilişkin değerler, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) standartlarında önerilen değerlere uygun olarak seçilmektedir. Buna göre; iç hava sıcaklığı konfor koşullarına uygun olarak minimum 20°C, maksimum 26°C olarak kabul edilmektedir.
- Cephenin ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesinde etkili olan ekonomik etmenler yapım maliyeti ve kullanım maliyeti olarak belirlenmektedir. Bu etmenlerden yapım maliyetine ilişkin değerler cam cephe uygulaması yapan firmalarla görüşmeler sonucunda, kullanım maliyetine ilişkin değerler ise

seçeneklerin enerji kayıplarına bağlı olarak hesaplanan enerji maliyetlerinden elde edilmiştir.

7.2 Kullanıcı Gereksinmelerinin Belirlenmesi

Enerji ve ekonomik etkinlik açısından kullanıcı gereksinmeleri, i iklim konfor koşullarının sağlanması ve cephenin toplam maliyetinin minimum olmasıdır.

7.3 Amaçların Belirlenmesi

Uygulamada, ısı kayıp ve kazançlarından kaynaklanan enerji tüketime ve toplam maliyeti minimum olan cam kabuk seçeneklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

7.4 Zorunlulukların Belirlenmesi

Ülkemizde hem enerji hem de ekonomik etkin bir cam cephenin sahip olması gereken özelliklerle ilgili koşulları tanımlayan bir standart, yönetmelik ya da şartname bulunmamaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 1993 yılı başında oluşturulan Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (UETM) enerji tasarrufu ve verimliliği ile ilgili yönetmelik ve standartların hazırlanması için ilgili kuruluş ve bakanlıklarla koordinasyon içinde çalışmaktadır. Bu alışmalar kapsamında; 1998’de TSE tarafından çıkartılan ve Haziran 2000’den itibaren Bayındırlık Bakanlığı tarafından zorunlu uygulamaya giren Türk Standardı TS 825’de; dış kabuğu oluşturan duvar ve pencerenin enerji korunumu açısından sahip olması gereken ısı geçirgenlik değerleri illerin yer aldığı iklim bölgelerine göre verilmektedir [96].

7.5 Performans Gereksinmelerinin Belirlenmesi

Enerji ve ekonomik etkin bir cepheden beklenen performans gereksinmeleri; enerji korunumu, hava sızdırmazlık, doğal havalandırma, ekonomi ve iç mekan konforu olarak belirlenmiştir (Bakınız Bölüm 6.2.1.5).

7.6 Ölçüt Olabilecek Özelliklerin Belirlenmesi

Cam kabuğun sahip olması gereken özellikler; ısı geçirgenlik direncinin yüksek olması, güneş kontrolü sağlaması, hava sızıntılarını önlemesi, doğal havalandırma sağlaması, yaşam dönemi maliyetinin düşük olması ve konfor koşullarını sağlamasıdır (Bakınız Bölüm 6.2.1.6).

7.7 Performans Ölçütlerinin Belirlenmesi

Amaçlar, gereksinimler ve zorunluluklar doğrultusunda belirlenen ölçütler aşağıda sıralanmaktadır:

Enerji Etkinlik İle İlgili Ölçütler:

- TS 825’de verilen U değerleri, çift camlı pencere ve dış duvara ait değerlerdir. Çift kabuk cam cephelere ait herhangi bir standart ise bulunamamıştır. Bu nedenle, uygulamada U değeri için bir sınır değeri alınmayarak tüm seçeneklerin etkinliği araştırılmıştır.
- Cam kabuğun güneş kontrolü sağlaması, enerji etkinliğin sağlanması açısından dikkate alınması gereken bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Cam tiplerine ve gölgeleme elemanı kullanımına bağlı olarak kabuğun SHGC değeri değişmektedir. Ülkemizde bu değere ilişkin herhangi bir standart bulunmamaktadır. Güneş kontrolü açısından, seçeneklerin SHGC değerlerinin düşük olması önerilmektedir.
- Havalandırmanın etkin bir şekilde sağlandığı kabul edilmektedir.
- Isı kayıp ve kazançlarından kaynaklanan toplam enerji yükü, cephenin enerji etkinliğini ölçmede esas alınmaktadır. Yıllık enerji yükü en düşük olan seçenek, enerji kullanımı açısından en etkin olan seçenek olmaktadır.

Ekonomik Etkinlik İle İlgili Ölçütler:

- Toplam maliyete etki eden *ilk yatırım maliyeti* ekonomik etkinliğin değerlendirilmesinde dikkate alınmaktadır.
- Enerji tüketimine göre belirlenen *yıllık enerji maliyetleri* (ısıtma ve soğutma maliyetleri), ekonomik etkinliğin değerlendirilmesinde önemli bir ölçüttür.

- *Cam kabuğun hizmet ömrü* 30 yıl olarak kabul edilmektedir.
- *Bakım – onarım maliyetleri* bu uygulama kapsamında sağlıklı olarak belirlenemediği için, yaşam dönemi maliyetinin hesabında dikkate alınmamıştır.

7.8 Cam Kabuk Seçeneklerinin Belirlenmesi

Önerilen yaklaşım doğrultusunda, amaç, zorunluluk ve ölçütlere bağlı olarak kabuk seçenekleri aşağıdaki sırayla belirlenmektedir:

Kabuk Değişkenlerinin Belirlenmesi

Cam kabuğu oluşturan bileşen, parça ve malzemeler Tablo 6.6'daki gibi düzenlenmektedir (Bakınız Bölüm 6.2.1.8). Tablodaki bileşenler ile, enerji ve ekonomik etkinliklerini ölçmek üzere tek ve çift cam kabuk seçeneklerini oluşturmak mümkün olmaktadır. Farklı bileşenler ile oluşturulan eleman seçeneklerinin farklı performans gösterecekleri dikkate alınarak, bu uygulamada bileşen, parça ve malzemelere ilişkin aşağıdaki kabuller yapılmaktadır:

Bileşenlere İlişkin Kabuller:

- Tek kabuk cam cephelerde; güneş kontrol elemanı, aralarında 20 mm. boşluk olan iki cam plakanın ortasında yer almaktadır.
- Çift kabuk cam cephelerde; ara boşluğun genişliğine ve güneş kontrol elemanının konumuna, WIS programı ile yapılan duyarlılık (sensivity) analizleri sonucunda karar verilmektedir. Bu amaçla; boşluğun farklı genişliklerde olması halinde cam kabuğun U ve SHGC değerlerindeki değişim ile güneş kontrol elemanının boşluk içerisindeki konumunun U ve SHGC değerlerine olan etkileri araştırılmıştır. Tablo 7.2'de dış kabuğu berrak tek cam iç kabuğu düşük yayımlı çift cam olan bir çift kabuk cephe için bu analizin sonuçları görülmektedir. Farklı camlama düzenlemeleri için yapılan analizlerde de U ve SHGC değerlerindeki değişim benzer sonuçlar vermiştir. Bunlara dayanılarak; ara boşluk genişliğindeki değişimin U değeri üzerinde çok az bir değişikliğe neden olduğunu, SHGC değerini ise etkilemediğini söylemek mümkündür. Ayrıca, güneş kontrol elemanı kullanımının U ve SHGC değerlerini etkilediği, ancak içte ya da dışta kullanılması hallerinde sadece SHGC değerini değiştirdiği görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda; uygulamada boşluk genişliği ortalama bir değer olarak

900 mm olarak kabul edilmekte, güneş kontrol elemanının ise dış cam kabuğa yakın olarak yerleştirilmesinin soğutma yükünün azaltılması açısından daha uygun olacağı dikkate alınmaktadır.

Tablo 7.2 Boşluk genişliği ve güneş kontrol elemanı konumunun U ve SHGC değerine etkisi.

Boşluk Genişliği (mm)	BİLEŞENLERİN DÜZENLENMESİ	Isı Geçirme Katsayısı (U - W/m ² K)	Güneş Isı Kazanç Katsayısı (SHGC)
300 600 900 1200 1500		1.91 1.92 1.93 1.93 1.93	0.39 0.39 0.39 0.39 0.39
300 600 900 1200 1500		1.85 1.85 1.86 1.86 1.86	0.16 0.16 0.16 0.16 0.16
300 600 900 1200 1500		1.85 1.85 1.86 1.86 1.86	0.14 0.14 0.14 0.14 0.14

- Taşıyıcı doğrama; ısı geçirme katsayısı 3 W/m²K olan 10 cm. genişliğinde bir metal doğramadır.

Parçalara İlişkin Kabuller:

- Güneş kontrol elemanı 0.2 mm. kalınlığında beyaz renkli bir jaluzidir. Jaluziyi oluşturan ince dar şeritler 16 mm. genişliğindedir. Şeritler arasındaki uzaklık 12 mm. dir ve şeritlerin yatayla oluşturduğu açı 45° dir.
- Yürüme yolları galvanize çelik panellerle oluşturulmaktadır.
- Herhangi bir katta yangın çıkması halinde; alevin, dumanın ya da zehirli gazların diğer katlara yayılmasını önlemek amacıyla, cam cephe ile giriş arasındaki birleşim galvanizli levha ile kapatılmaktadır.

Malzemeye İlişkin Kabuller:

- Gerek tek kabukta gerekse çift kabukta kullanılan cam tipleri;

1. Berrak (clear) cam,
2. Güneş kontrol camı (reflective),
3. Düşük yayınlı (low-E) cam

olarak seçilmiştir. Bu tiplerin kabuk seçeneklerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla gerekli olan güneş enerjisini geçirme, güneş enerjisini dışa – içe yansıtma, görünür geçirgenlik, görünür yansıtıcılık ve yayınım (emissivity) değerleri Tablo 7.3’de verilmektedir.

- Çift cam biriminin düşük yayınlı camla oluşturulması halinde, metal oksit kaplamanın iç tabakanın dış yüzeyine uygulandığı varsayılmaktadır.
- Paslanmaz çelik ankraj elemanları kullanılmaktadır.

Tablo 7.3 Çalışmada kullanılan cam tiplerine ilişkin veriler [97].

		Kalınlık (mm)	Berrak cam	Güneş Kontrol Camı	Düşük Yayınlı Cam
Güneş Enerjisi	Direkt Geçirgenlik	6	0.770	0.208	0.574
	Dışa Yansıtma	6	0.070	0.152	0.218
	İçe Yansıtma	6	0.070	0.328	0.144
Gün Işığı	Görünür Geçirgenlik	6	0.880	0.300	0.825
	Dışa Yansıtma	6	0.080	0.121	0.041
	İçe Yansıtma	6	0.080	0.265	0.055
Yayınım	Dışa Yayınım	6	0.840	0.840	0.100
	İçe Yayınım	6	0.840	0.550	0.840

- Jaluzinin güneş enerjisi geçirgenliğinin 0.227, içe ve dışa yayınının ise 0.729 olduğu varsayılmaktadır.
- Katlar arasındaki ses geçişini önlemek amacıyla, giriş ile cephe arasındaki boşluklar cam yünü ile doldurulmaktadır.

Alt Düzeydeki Değişkenlerin Belirlenmesi

Amaca uygunluğu ölçmek üzere belirlenen ölçüt değerleri (ısı geçirme katsayısı, güneş ısı kazanç katsayısı, enerji yükleri ve enerji maliyetleri) üzerinde doğrudan

etkili olan bileşen özelliklerinden konum ve malzeme özellikleri, değerlendirilecek kabuk seçeneklerinin belirlenmesinde dikkate alınmaktadır.

Bileşenlerin alabilecekleri farklı konumlara bağlı olarak oluşturulan tek ve çift cam kabuk seçenekleri Tablo 7.4’de görülmektedir. Tek kabuk cepheler çift cam ile oluşturulurken, çift kabuk cephe seçenekleri tek ve çift camın alabileceği farklı konumlara bağlı olarak oluşturulmaktadır. İlave olarak güneş kontrol elemanının olması ve olmaması durumları dikkate alınmaktadır. Bu elemanın konumuna ise; daha önce de belirtildiği gibi, yapılan duyarlılık analizi sonucunda karar verilmiştir.

Tablo 7.4 Bileşenlerin konumlarına bağlı olarak eleman seçenekleri.

CAM KABUK DÜZENLEMELERİ				
Tek Kabuk	Çift Kabuk			
I	II	III	IV	V
Tek cam	Çift cam	Güneş Kontrol Elemanı		

Kabuk Seçeneklerinin Oluşturulması

Birinci adımda kabuk değişkenleri için yapılan kabullere ve ikinci adımda seçilen bileşen özelliklerine bağlı olarak tek ve çift kabuk cephe seçenekleri belirlenebilmektedir. Değerlendirmeler sırasında seçeneklere ilişkin özelliklerinin anlaşılabilmesi amacıyla, seçenekler için Tablo 7.5’de görüldüğü gibi bir kodlama sistemi geliştirilmektedir.

Kodlamadaki harf ve rakamlar; kabuk tipindeki, bileşen konumlarındaki (camlama tipi, camın iç ya da dış kabukta kullanılması) ve malzeme farklılıklarındaki (cam tipi)

değişiklikler ile güneş kontrol elemanının kullanılıp kullanılmaması durumunu ifade etmektedir. Bu doğrultuda, kodlama sistemi tek kabuk cephe seçenekleri için dört haneden oluşurken, çift kabuk cephe seçenekleri için çift kabuk olması nedeniyle altı haneden oluşmaktadır. Örneğin; 1Ç20 kodlu seçenek; güneş kontrol kaplamalı bir çift cam ile oluşturulmuş, güneş kontrol elemanı olmayan bir tek kabuk cepheyi ifade etmektedir. 2ÇT311 kodu ise; dış kabuğu düşük yayınlı bir çift cam, iç kabuğu berrak cam tipinde bir tek cam ile oluşturulmuş, güneş kontrol elemanı olan bir çift kabuk cepheyi tanımlamaktadır.

Tablo 7.5 Eleman seçeneklerinin kodlanması.

HANE	TEK KABUK CEPHE				ÇİFT KABUK CEPHE					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
BİLEŞEN ÖZELLİKLERİ	Kabuk tipi	Camlama tipi	Cam tipi	Gölge elemanı kullanımı	Kabuk tipi	Dış kabuğun camlama tipi	İç kabuğun camlama tipi	Dış kabuğun cam tipi	İç kabuğun cam tipi	Gölge elemanı kullanımı
DEĞİŞKEN KODLARI	Kabuk tipi				Tek kabuk		1			
					Çift Kabuk		2			
	Camlama tipi				Tek cam		T			
					Çift cam		Ç			
	Cam tipi				Berrak cam		1			
					Güneş Kontrol Camı		2			
					Düşük Yayınlı Cam		3			
	Gölge elemanı kullanımı				Yok		0			
					Var		1			

Bileşenlerin konumlarına bağlı olarak oluşturulan Tablo 7.4'deki seçeneklerin üç farklı cam tipi ile kombinezonu sonucu oluşturulan kabuk seçenekleri Tablo 7.6'da görülmektedir.

7.9 Seçeneklerin Enerji Yüklerinin Analizi

Seçeneklerin enerji tüketimlerinin belirlenmesini amaçlayan bu analiz, önerilen model doğrultusunda üç aşamada yapılmaktadır.

Tablo 7.6 Cam kabuk seçenekleri.

Berrak C. : Berrak (Clear) Cam

Güneş K. C.

: Güneş Kontrol Camı

Düşük Y. C. : Düşük Yayınlı (Low-E) Cam

	No	Kod	Dış Cam Kabuk	Güneş Kontrolü	İç Cam Kabuk
I	1	1Ç10	Yok	Yok	Çift cam / Berrak C.
	2	1Ç11	Yok	Var	Çift cam / Berrak C.
	3	1Ç20	Yok	Yok	Çift cam / Güneş K. C.
	4	1Ç21	Yok	Var	Çift cam / Güneş K. C.
	5	1Ç30	Yok	Yok	Çift cam / Düşük Y. C.
	6	1Ç31	Yok	Var	Çift cam / Düşük Y. C.
II	7	2TT110	Tek cam / Berrak C.	Yok	Tek cam / Berrak C.
	8	2TT111	Tek cam / Berrak C.	Var	Tek cam / Berrak C.
	9	2TT120	Tek cam / Berrak C.	Yok	Tek cam / Güneş K. C.
	10	2TT121	Tek cam / Berrak C.	Var	Tek cam / Güneş K. C.
	11	2TT210	Tek cam / Güneş K. C.	Yok	Tek cam / Berrak C.
	12	2TT211	Tek cam / Güneş K. C.	Var	Tek cam / Berrak C.
	13	2TT220	Tek cam / Güneş K. C.	Yok	Tek cam / Güneş K. C.
III	14	2TT221	Tek cam / Güneş K. C.	Var	Tek cam / Güneş K. C.
	15	2TÇ110	Tek cam / Berrak C.	Yok	Çift cam / Berrak C.
	16	2TÇ111	Tek cam / Berrak C.	Var	Çift cam / Berrak C.
	17	2TÇ120	Tek cam / Berrak C.	Yok	Çift cam / Güneş K. C.
	18	2TÇ121	Tek cam / Berrak C.	Var	Çift cam / Güneş K. C.
	19	2TÇ130	Tek cam / Berrak C.	Yok	Çift cam / Düşük Y. C.
	20	2TÇ131	Tek cam / Berrak C.	Var	Çift cam / Düşük Y. C.
	21	2TÇ210	Tek cam / Güneş K. C.	Yok	Çift cam / Berrak C.
	22	2TÇ211	Tek cam / Güneş K. C.	Var	Çift cam / Berrak C.
	23	2TÇ220	Tek cam / Güneş K. C.	Yok	Çift cam / Güneş K. C.
	24	2TÇ221	Tek cam / Güneş K. C.	Var	Çift cam / Güneş K. C.
	25	2TÇ230	Tek cam / Güneş K. C.	Yok	Çift cam / Düşük Y. C.
	26	2TÇ231	Tek cam / Güneş K. C.	Var	Çift cam / Düşük Y. C.
IV	27	2ÇT110	Çift cam / Berrak C.	Yok	Tek cam / Berrak C.
	28	2ÇT111	Çift cam / Berrak C.	Var	Tek cam / Berrak C.
	29	2ÇT120	Çift cam / Berrak C.	Yok	Tek cam / Güneş K. C.
	30	2ÇT121	Çift cam / Berrak C.	Var	Tek cam / Güneş K. C.
	31	2ÇT210	Çift cam / Güneş K. C.	Yok	Tek cam / Berrak C.
	32	2ÇT211	Çift cam / Güneş K. C.	Var	Tek cam / Berrak C.
	33	2ÇT220	Çift cam / Güneş K. C.	Yok	Tek cam / Güneş K. C.
	34	2ÇT221	Çift cam / Güneş K. C.	Var	Tek cam / Güneş K. C.
	35	2ÇT310	Çift cam / Düşük Y. C.	Yok	Tek cam / Berrak C.

	No	Kod	Dış Cam Kabuk	Güneş Kontrolü	İç Cam Kabuk
IV	36	2ÇT311	Çift cam / Düşük Y. C.	Var	Tek cam / Berrak C.
	37	2ÇT320	Çift cam / Düşük Y. C.	Yok	Tek cam / Güneş K. C.
	38	2ÇT321	Çift cam / Düşük Y. C.	Var	Tek cam / Güneş K. C.
V	39	2ÇÇ110	Çift cam / Berrak C.	Yok	Çift cam / Berrak C.
	40	2ÇÇ111	Çift cam / Berrak C.	Var	Çift cam / Berrak C.
	41	2ÇÇ120	Çift cam / Berrak C.	Yok	Çift cam / Güneş K. C.
	42	2ÇÇ121	Çift cam / Berrak C.	Var	Çift cam / Güneş K. C.
	43	2ÇÇ130	Çift cam / Berrak C.	Yok	Çift cam / Düşük Y. C.
	44	2ÇÇ131	Çift cam / Berrak C.	Var	Çift cam / Düşük Y. C.
	45	2ÇÇ210	Çift cam / Güneş K. C.	Yok	Çift cam / Berrak C.
	46	2ÇÇ211	Çift cam / Güneş K. C.	Var	Çift cam / Berrak C.
	47	2ÇÇ220	Çift cam / Güneş K. C.	Yok	Çift cam / Güneş K. C.
	48	2ÇÇ221	Çift cam / Güneş K. C.	Var	Çift cam / Güneş K. C.
	49	2ÇÇ230	Çift cam / Güneş K. C.	Yok	Çift cam / Düşük Y. C.
	50	2ÇÇ231	Çift cam / Güneş K. C.	Var	Çift cam / Düşük Y. C.
	51	2ÇÇ310	Çift cam / Düşük Y. C.	Yok	Çift cam / Berrak C.
	52	2ÇÇ311	Çift cam / Düşük Y. C.	Var	Çift cam / Berrak C.
	53	2ÇÇ320	Çift cam / Düşük Y. C.	Yok	Çift cam / Güneş K. C.
	54	2ÇÇ321	Çift cam / Düşük Y. C.	Var	Çift cam / Güneş K. C.
	55	2ÇÇ330	Çift cam / Düşük Y. C.	Yok	Çift cam / Düşük Y. C.
	56	2ÇÇ331	Çift cam / Düşük Y. C.	Var	Çift cam / Düşük Y. C.

7.9.1 Seçeneklerin Isısal ve Optik Özelliklerinin Hesaplanması

Oluşturulan kabuk seçeneklerinin ısısal ve optik özellikleri (U ve SHGC değerleri) cam kabuğu oluşturan bileşenlerin özelliklerine ve dış iklim değişkenlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda, özelliklere ilişkin hesap değerlerinin belirlenmesi için gerekli olan iklim koşullarına, tek ve çift kabuk cephe bileşenlerinin (iç kabuk, dış kabuk, güneş kontrol elemanı ve ara boşluk gibi) farklı düzenleniş biçimlerine, cam kabuğu oluşturan bileşenlerin boyutlarına ve malzeme özelliklerine ilişkin girdiler WIS programı içinde tanımlanmaktadır. Tablo B.1'de kabuk seçeneklerinin U ve SHGC değerlerine ilişkin simülasyon sonuçları yer almaktadır. Tablodaki grafiklere bakıldığında; U değerlerinin düşük yayınlı camlarla yapılan düzenlemelerde, SHGC değerlerinin ise güneş kontrol camları ile yapılan düzenlemelerde en iyi sonuçları verdikleri görülmektedir. Ayrıca güneş kontrol elemanı kullanımının; camın tipine ve konumuna bağlı olarak kabuğun U değerini

değişen oranlarda azalttığı ya da arttırdığı, SHGC değerlerini ise gene değişen oranlarda düşürdüğü söylenebilmektedir.

7.9.2 Seçeneklerin Isı Kayıp ve Kazançlarının Hesaplanması

Seçeneklerin geçirgenlikten, güneş ışıımından, hava sızıntılarından ve kütle etkisinden kaynaklanan kayıp ve kazançları, enerji yükü analizinde kullanılan ENER-WIN simülasyon programı ile hesaplanmaktadır. Tablo B.2’de simülasyon sonucunda elde edilen yıllık ısıtma ve soğutma yükü değerleri, bileşen konumlarına bağlı olarak oluşturulan seçenek gruplarına göre düzenlenmektedirler. Bu değerlerin değişimi, her seçenek grubu için çizilen grafikler yardımı ile değerlendirilebilmektedir. Şekil B.1’de bileşen konumlarına bağlı olarak oluşturulan gruplarda yer alan seçenekler için ısıtma ve soğutma yükleri karşılaştırılmaktadır.

7.9.3 Seçeneklerin Toplam Enerji Yüklerinin ve Tüketimlerinin Hesaplanması

Analiz sonucunda belirlenen ısıtma ve soğutma yüklerinin toplanması ile elde edilen toplam enerji yükleri, Tablo B.3’de enerji sisteminin etkinliğine bağlı olarak hesaplanan yıllık enerji tüketimleri ile birlikte görülmektedir. Şekil B.2’de bileşen konumlarına bağlı olarak oluşturulan gruplarda yer alan seçenekler için ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin değişimi görülmektedir.

7.9.4 Seçeneklerin Enerji Tüketimlerinin Değerlendirilmesi

Uygulama için seçeneklerin enerji tüketimleri üzerinde etkili olan bileşen özellikleri, bileşen konumu, malzeme tipi ve güneş kontrol elemanı kullanımı olarak belirlenmişti. Söz konusu özelliklerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ile çift kabuk cephe sistemlerinin düzenlenmesinde kullanılabilecek etkin çözümlerin önerilmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, bileşen konumlarına bağlı olarak düzenlenen seçenek gruplarına ait enerji tüketimlerinin gösterildiği Şekil B.2’den yararlanılmaktadır. Ayrıca Şekil B.3’de tüm seçenekler bir arada gösterilmektedir. Bu grafikler yardımı ile; enerji tüketimi açısından her grupta hangi cam tipinin daha etkin sonuç verdiğine ve güneş kontrol elemanı kullanımının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin ne kadar olduğuna ilişkin karar verilebilmektedir. Enerji tüketimi açısından en etkin olan bileşen konumu ise;

her seçenek grubu içindeki en etkin seçeneklerin birbirleri ile karşılaştırılması sonucunda belirlenmektedir.

Cam Tipinin Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

* *I. Grup:* Tek kabuk cam cephe seçeneklerinin yer aldığı Şekil B.2a'ya göre; ısıtma enerjisi tüketimi açısından düşük yayınlı camın, soğutma enerjisi tüketimi açısından güneş kontrol camının, toplam enerji tüketimi açısından ise düşük yayınlı camın en etkin oldukları görülmektedir. Üç farklı cam tipinin enerji kayıp oranlarına bakıldığında; en fazla enerji tüketiminin olduğu berrak cama oranla güneş kontrol camının % 2.85, düşük yayınlı camın ise %12 daha az enerji tükettiği görülmektedir. Bu durum, düşük yayınlı camın uzun dalga ışımasını tekrar iç mekana yansıtması sonucu kabuğun ısıtma yüklerinde oluşan azalmadan kaynaklanmaktadır.

* *II. Grup:* Hem iç hem de dış kabuğun tek cam ile oluşturulduğu çift kabuk cam cephe seçeneklerinin yer aldığı Şekil B.2b'ye göre, cam tipi açısından enerji tüketimlerinde önemli ölçüde bir değişim olmadığını, ancak en az tüketimin her iki kabukta da güneş kontrol camı kullanılan 2TT220 kodlu seçenekte oluştuğunu söylemek mümkündür. Enerji tüketimindeki bu azalma, en fazla tüketimin gerçekleştiği her iki kabukta da berrak camın kullanıldığı 2TT110 seçeneğine göre %5 kadardır. Güneş kontrol camının güneş enerjisini berrak cama oranla daha fazla yansıtması sonucu, çift kabuğun güneş enerjisi geçirgenliğinin ve dolayısıyla soğutma yüklerinin azalması bu sonucu getirmektedir.

* *III. Grup:* Dış kabuğun tek cam, iç kabuğun çift cam ile oluşturulduğu çift kabuk seçeneklerinin bulunduğu Şekil B.2c'ye bakıldığında, en az tüketimin dış kabuğun berrak cam iç kabuğun düşük yayınlı camla oluşturulduğu düzenlemede gerçekleştiği görülmektedir (2TÇ130 kodlu seçenek). Bu azalma, en fazla tüketime sahip dış kabukta güneş kontrol camı iç kabukta berrak camın kullanıldığı 2TÇ210 seçeneğine oranla % 10.25 kadardır.

* *IV. Grup:* Dış kabuğun çift cam, iç kabuğun tek cam ile oluşturulduğu bu grupta yer alan seçeneklerden enerji tüketimi açısından en etkin olanı, Şekil B.2d'de görüldüğü gibi dış kabuğun düşük yayınlı cam iç kabuğun güneş kontrol camı ile oluşturulduğu düzenleme şeklidir (2ÇT320 kodlu seçenek). Bu seçeneğin enerji

tüketimindeki azalma, gruptaki en fazla enerji tüketen dış kabukta güneş kontrol camının iç kabukta berrak camın kullanıldığı 2ÇT210 seçeneğine göre % 16.7 dir.

* *V. Grup:* Her iki kabuğun da çift cam ile oluşturulduğu seçeneklerin yer aldığı Şekil B.2e incelendiğinde, her iki kabuğu da düşük yayınlı camdan oluşan 2ÇÇ330 kodlu seçeneğin en etkin olduğu görülmektedir. Bu seçenek, grup içerisindeki en fazla enerji tüketen dış kabuğun güneş kontrol camı iç kabuğun berrak cam ile oluşturulduğu 2ÇÇ210 seçeneğine oranla % 15.59 daha etkindir.

Güneş Kontrol Elemanı Kullanımının Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

* *I. Grup:* Tek kabuk cam cephe seçeneklerinin bulunduğu bu grupta; güneş kontrol elemanı kullanımı Şekil B.2a'da görüldüğü gibi enerji tüketimini %1 - %1.8 arasında değişen düşük bir oranda etkilemektedir. En az enerji tüketen 1Ç31 seçeneği en fazla enerji tüketen 1Ç11 seçeneğine göre % 8.6 daha etkindir.

* *II. Grup:* İç ve dış kabuğun tek cam ile oluşturulduğu bu grupta yer alan seçeneklerde, güneş kontrol elemanı enerji tüketimini % 1.47 - 2.59 arasında değişen bir oranda azaltmaktadır. Bu seçenekler arasında en etkin olanı 2TT121 kodlu seçenektir.

* *III. Grup:* Şekil B.2c'de görüldüğü gibi, bu grupta yer alan seçenekler için güneş kontrol elemanının kullanımı I. ve II. gruptakilerin tersine enerji tüketimini % 2 - % 4 oranında arttırmaktadır. Bu durum, güneş kontrolü ile kabuğun güneş enerjisi geçirgenliğinin düşmesinden (Bakınız Tablo B.1) ve böylelikle kışın daha fazla ısıtma yüküne ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Yazın ise güneş kontrol elemanı sayesinde soğutma yükünde bir düşme gözlenmektedir. Bu gruptaki en etkin olan 2TÇ231 kodlu seçenek, en fazla enerji tüketen 2TÇ110 seçeneğine göre % 7.5 daha etkindir.

* *IV. Grup:* Şekil B.2d'de görüldüğü gibi, güneş kontrol elemanı kullanımı bu gruptaki seçeneklerin bazılarında III. gruptaki seçeneklerde olduğu gibi, güneş enerjisi geçirgenliğindeki düşme sonucu enerji tüketiminde bir artışa neden olmaktadır. Bu artış dış kabukta düşük yayınlı camın kullanıldığı seçeneklerde %10'lara kadar çıkmaktadır. Grup içerisindeki güneş kontrol elemanlı seçeneklerin enerji tüketimleri birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte, dış kabukta düşük

yayınımı iç kabukta güneş kontrol camının kullanıldığı 2ÇT321 kodlu seçenek en etkin olanıdır. Bu seçenek, gruptaki en fazla enerji tüketen 2ÇT111 seçeneği ile karşılaştırıldığında % 5 daha etkindir.

* *V. Grup*: Şekil B.2e'ye bakıldığında, güneş kontrol elemanının en fazla dış kabukta düşük yayınımı cam kullanılması halinde enerji tüketimine neden olduğu görülmektedir. Bunun birlikte, enerji tüketimi açısından en etkin olan seçenek yine dış kabukta düşük yayınımı camın kullanıldığı 2ÇÇ331 kodlu seçenektir.

Bileşen Konumunun Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

Bileşen konumunun enerji tüketimi üzerindeki etkisi, Şekil B.2'de yer alan her gruptaki en etkin seçeneğin birbirleri ile karşılaştırılması ile belirlenebilmektedir. Tablo 7.7'de beş gruptaki en az enerji tüketen seçeneklere ait kodlar, U, SHGC ve enerji tüketimi değerleri ile etkinlik yüzdeleri görülmektedir. Etkinlik yüzdeleri tüm seçenekler içinde en fazla enerji tüketen (129.89 kWh/m²) 1Ç10 seçeneğine göre belirlenmişlerdir. Tabloya göre; en az enerji tüketen bileşen konumunun her iki kabukta çift camın kullanıldığı V no'lu düzenleniş biçimi olduğunu ve bu gruptaki en etkin 2ÇÇ330 kodlu seçeneğin örneğin 2TÇ130'a göre % 10.94 daha etkin olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 7.7 Bileşen konumlarına göre enerji tüketimi açısından etkin seçenekler.

Grup No	Kod	U (W/m ² K)	SHGC	Enerji Tüketimi kWh/m ²	Etkinlik %
I	1Ç30	2.34	0.44	113.89	12.32
II	2TT121	2.44	0.17	119.88	7.71
III	2TÇ130	1.93	0.39	98.44	24.22
IV	2ÇT320	1.70	0.30	91.81	29.32
V	2ÇÇ330	1.50	0.30	84.23	35.16

7.10 Seçeneklerin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Analizi

Ekonomik etkinlik analizinde, Şekil 6.3'de önerildiği gibi seçeneklerin enerji, ilk yatırım ve yaşam dönemi maliyetleri belirlenmektedir. Bu uygulamada, daha önce de

belirtildiği gibi, yeterli veri elde edilememesi nedeniyle bakım-onarım maliyetleri hesaba katılmamıştır.

7.10.1 Yaşam Dönemi İçindeki Enerji Maliyetlerinin Hesaplanması

Seçeneklerin yaşam dönemi enerji maliyetleri; Denklem 6.7 – 6.13’den yararlanılarak belirlenmekte (Bakınız Tablo B.4) ve Şekil B.4’de görüldüğü gibi bileşen konumlarına bağlı olarak oluşturulan gruplar içerisinde düzenlenmektedirler. Hesaplamalarda; seçeneklerin ısıtma ve soğutma enerjisi yüklerine, enerji birim maliyetlerine, ısıtma sisteminin etkinliğine, cephenin yaşam dönemine ve iskonto oranına ilişkin veriler aşağıdaki gibi kabul edilmektedir:

Enerji yükleri	: Simülasyon sonucunda belirlenen yıllık enerji yükleri.
Yakıt türü	: Doğal gaz ve elektrik.
Doğal gaz birim fiyatı	: $131.292 \text{ m}^3 / \text{TL} = 13690.51 \text{ kWh} / \text{TL}$. (İGDAŞ 2000 yılı aylık doğal gaz fiyatları ortalaması)
Elektrik enerjisi fiyatı	: $42.887 \text{ kWh} / \text{TL}$. (AKTAŞ 2000 yılı aylık elektrik enerjisi fiyatlarının ortalama değeri.)
Isıtma sisteminin etkinliği	: %70 (BRE Digest 355’den [69, s.5] merkezi ısıtmalı sistemler için seçilen ortalama değer).
Soğutma sisteminin etkinliği	: %100
Yaşam Dönemi	: 30 yıl.
İskonto oranı	: %15.

7.10.2 İlk Yatırım Maliyetlerinin Hesaplanması

İlk yatırım maliyetlerinin belirlenebilmesi için, cam cephe uygulaması yapan firmalarla görüşülerek bileşenler için ortalama birim (m^2) maliyetler belirlenmiştir. Tablo 7.8’de uygulama için seçilen bina cephesine ait bileşenlerin ve farklı cam türlerinin birim maliyetleri ile alanları görülmektedir. Bileşenlerin imalatına ait birim maliyetler; işçilik + araç + malzeme fiyatlarını içermektedir.

Denklem 6.14’e göre; bileşen birim maliyetlerinin alanları ile çarpılması sonucu elde edilen ilk yatırım maliyetleri ise tüm seçenekler için Tablo B.5’de düzenlenmektedir.

Bu maliyetlerin bileşen konumlarına bağlı olarak gruplandığı Şekil B.5 seçeneklerin karşılaştırılmasına imkan tanımaktadır.

Tablo 7.8 Bileşen düzeyinde belirlenen birim maliyetler ve bileşen alanları.

İMALAT	ALAN	TL/BİRİM
Strüktürel silikon cephe yapılması	14256 m ²	91.800.000 TL/m ²
Transparan cephe bağlantısının yapılması	14256 m ²	99.000.000 TL/m ²
Jaluzi yapılması	12474 m ²	69.000.000 TL/m ²
Galvanize çelik döşeme yapılması	3888 m ²	90.000.000 TL/m ²
Opak panel yapılması	1728 m ²	15.000.000 TL/m ²
Yangın yalıtımı yapılması	4320 mt	5.400.000 TL/mt
Ses yalıtımı yapılması	4320 mt	2.400.000 TL/mt
Cam montajı	12528 m ²	9.600.000 TL/m ²
Transparan cam montajı	14256 m ²	14.400.000 TL/m ²
MALZEME	ALAN	TL/BİRİM
Berrak (clear) cam (6 mm.)	12528 m ²	6.360.000 TL/m ²
Güneş kontrol camı (6 mm.)	12528 m ²	11.289.000 TL/m ²
Düşük yayınlı (Low-E) cam (6 mm.)	12528 m ²	9.830.000 TL/m ²
Berrak (clear) cam (6 + 12 + 6 mm.)	12528 m ²	30.692.000 TL/m ²
Güneş kontrol camı (6 + 12 + 6 mm.)	12528 m ²	40.776.000 TL/m ²
Düşük yayınlı (Low-E) cam (6 + 12 + 6 mm.)	12528 m ²	39.181.000 TL/m ²

7.10.3 Toplam Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Hesaplanması

Denklem 6.16'ya göre belirlenen toplam yaşam dönemi maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve yaşam dönemi içindeki enerji maliyetleri ile birlikte Tablo B.5'de görülmektedir. Şekil B.6'da ise, bileşen düzenleniş biçimlerine göre gruplanan seçenekler birbirleri ile karşılaştırılmaktadır.

7.10.4 Seçeneklerin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Değerlendirilmesi

Seçeneklerin yaşam dönemi maliyetleri de enerji tüketimleri gibi, bileşen özelliklerine bağlı olarak değerlendirilmektedir. Bu amaçla, bileşenlerin düzenleniş biçimlerine göre oluşturulan seçenek gruplarının enerji, ilk yatırım ve yaşam dönemi maliyetlerinin bir arada gösterildiği Şekil B.7'den ve her birinin tek başına ifade edildiği Şekil B.4 - B.6'dan yararlanılmaktadır. Bu grafikler yardımı ile; ekonomik açıdan etkin olan seçeneğin belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Cam Tiplerinin Yaşam Dönemi Maliyeti Üzerindeki Etkisi

* *I. Grup:* Tek kabuk cam cephe seçeneklerinin yer aldığı bu gruptaki seçeneklerin enerji, ilk yatırım ve yaşam dönemi maliyetlerinin karşılaştırıldığı Şekil B.7'ye göre; düşük yayınlı camın kullanıldığı 1Ç30 kodlu seçenek en ekonomik seçenektir. Bu seçenek, ekonomik açıdan berrak cama göre % 5.19, güneş kontrol camına göre % 1.3 daha etkindir. Bu durum, Şekil B.4'de görüldüğü gibi düşük yayınlı camın enerji tüketimi maliyetinin diğerlerine oranla düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

* *II. Grup:* Hem dış hem de iç kabuğun tek camla oluşturulduğu bu gruptaki seçenekler içinde, Şekil B.6'ya göre yaşam dönemi maliyeti açısından en etkin olanı 2TT210 kodlu seçenektir. Dış kabukta güneş kontrol camının iç kabukta berrak camın kullanıldığı bu seçenek, her iki kabukta berrak camın kullanıldığı yaşam dönemi maliyeti en fazla olan 2TT110 seçeneğine oranla % 1.28 daha etkindir.

* *III. Grup:* Bu gruptaki yaşam dönemi maliyeti açısından en etkin olan seçenek, dış kabukta güneş kontrol camının iç kabukta berrak camın kullanıldığı 2TÇ210 kodlu seçenektir. Her iki kabukta da güneş kontrol camının kullanıldığı en yüksek maliyetli 2TÇ220 kodlu seçenek 2TÇ210'a göre % 3.73 daha az etkindir.

* *IV. Grup:* Şekil B.6'da görüldüğü gibi, dış kabuğu güneş kontrol camı iç kabuğu berrak cam ile oluşturulan 2ÇT210 kodlu seçenek toplam maliyet açısından en etkin olan seçenektir. Gruptaki dış kabuğu düşük yayınlı cam iç kabuğu güneş kontrol camı ile oluşturulan en yüksek yaşam dönemi maliyetine sahip 2ÇT320 seçeneği ise, 2ÇT210'a göre % 3 daha az etkindir.

* *V. Grup:* Bu gruptaki seçenekler incelendiğinde; toplam maliyetleri en düşük olan çözümlerin dış kabukta berrak camın kullanılması halinde gerçekleştiği görülmektedir. En fazla toplam maliyete sahip dış kabukta düşük yayınlı camın iç kabukta berrak camın kullanıldığı 2ÇÇ310 kodlu seçenek (Bakınız Şekil B.4), en düşük maliyetli 2ÇÇ120 seçeneğine göre % 8.99 daha az etkindir.

Güneş Kontrol Elemanının Yaşam Dönemi Maliyeti Üzerindeki Etkisi

* *I. Grup:* Güneş kontrol elemanı kullanımı Şekil B.5'de görüldüğü gibi ilk yatırım maliyetlerini arttırmakta ve böylelikle toplam yaşam dönemi maliyetlerinde de bir

artışa neden olmaktadır (Bakınız Şekil B.6). En fazla artış, bu elemanın güneş kontrol camı ile birlikte kullanılması halinde % 25.38 oranında gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, berrak camın kullanıldığı 1Ç11 seçeneği ilk yatırım maliyetinin düşük olması nedeniyle toplam maliyet açısından en etkin olanıdır.

* *II. Grup:* Bu grupta yer alan seçeneklerde, güneş kontrol elemanı kullanımının toplam maliyet üzerindeki etkisi % 16.24 - % 17.86 arasında değişmektedir. En fazla artış, %17.86 oranında güneş kontrol camı ve berrak cam ile oluşturulan 2TT211 kodlu çift kabuk cephe seçeneğinde gerçekleşmektedir.

* *III. Grup:* Dış kabuğun tek cam iç kabuğun çift camla oluşturulduğu bu gruptaki seçeneklerde; güneş kontrol elemanı kullanımı toplam maliyette % 15.98 - %16.83 arasında değişen bir artışa neden olmaktadır. Bu gruptaki güneş kontrol elemanlı seçenekler arasında en etkin olanı 2TÇ111 kodlu seçenektir.

* *IV. Grup:* Şekil B.6'ya bakıldığında; dış kabuğun çift cam iç kabuğun tek cam ile oluşturulduğu bu grup içerisinde, güneş kontrol elemanı kullanımı ile toplam maliyette oluşan artışın % 16.11 - % 17.74 arasında değiştiği görülmektedir. Bu gruptaki güneş kontrol elemanlı seçenekler arasında en etkin olanı 2ÇT211 kodlu seçenektir.

* *V. Grup:* Bu gruptaki seçeneklerde, güneş kontrol elemanı kullanımının toplam maliyet üzerindeki etkisi % 15.75 - % 16.57 arasında değişmektedir. % 16.57 ile en fazla artışın gerçekleştiği 2ÇÇ121 kodlu seçenek, yaşam dönemi maliyeti açısından gruptaki en etkin seçenektir.

Bileşen Konumunun Yaşam Dönemi Maliyeti Üzerindeki Etkisi

Bileşen konumunun toplam yaşam dönemi maliyeti üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi amacıyla, Şekil B.6'da görülen beş grupta yer alan en etkin seçenekler birbirleri ile karşılaştırılmaktadırlar. Tablo 7.9'da her grup içerisinde yaşam dönemi maliyeti açısından en etkin olan seçeneklere ait kodlar ve maliyet değerleri ile etkinlik yüzdeleri görülmektedir. Etkinlik yüzdeleri tüm seçenekler arasında maliyeti en fazla olan 2ÇÇ311 seçeneğine göre belirlenmişlerdir.

Tablo 7.9 Bileşen konumlarına göre yaşam dönemi maliyeti açısından etkin seçenekler.

Grup No	Kod	Yaşam Dönemi Maliyeti TL (milyon)	Etkinlik %
I	1Ç30	2420376.69	55.97
II	2TT210	3921797.07	28.66
III	2TÇ210	4193290.02	23.72
IV	2ÇT210	4081469.01	25.76
V	2ÇÇ120	4202076.14	23.56

Bu tabloya göre; yaşam dönemi maliyeti açısından en etkin seçenek, düşük yayınlı çift camla oluşturulan tek kabuk cam cephedir. Bu sonuç; tek kabuk cam cephenin ilk yatırım maliyetinin çift kabuk cam cephelere göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Bakınız Şekil B.5). Çift kabuk cam cephe seçenekleri arasında yaşam dönemi maliyeti açısından en etkin olan bileşen konumunun ise, her iki kabukta tek camın kullanıldığı II no'lu düzenleniş biçiminde gerçekleştiğini ve bu gruptaki en etkin 2TT210 kodlu seçeneğin örneğin III. gruptaki en etkin seçenek olan 2TÇ210'a göre % 4.94 daha etkin olduğunu söylemek mümkündür.

7.11 Karşılaştırma ve Seçim

Enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyeti açısından etkin olan seçeneklerin belirlenmesi için, tüm seçeneklerin en düşük değere sahip seçeneğe göre etkinlik yüzdeleri gösteren Şekil B.8'den yararlanılmaktadır. Bu grafikte;

- Enerji tüketimi açısından en etkin olan seçeneğin; her iki kabuğun da çift camla oluşturulduğu 2ÇÇ330 kodlu çift kabuk cam cephe seçeneği olduğu ve bu seçeneğin en fazla enerji tüketen 1Ç10 kodlu tek kabuk cephe seçeneğine göre, 84.23 kWh / m² enerji tüketimi ile yıllık 45.66 kWh / m² enerji kazancı,
- Yaşam dönemi maliyeti açısından en etkin olan seçeneğin ise; 1Ç30 kodlu tek kabuk cam cephe seçeneği olduğu ve bu seçeneğin toplam maliyeti en yüksek olan 2ÇÇ311 seçeneğine göre 3077045.63 TL (milyon) bir kazanç

sağladığı görülmektedir.

7.12 Sonuç

Uygulama sonucunda, tezde önerilen yaklaşım doğrultusunda enerji ve ekonomik etkin seçenek ile amaçlanan etkinlik açısından uygun bileşen özelliklerinin belirlenebildiği görülmüştür. Varılan sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

- 2ÇÇ330 kodlu her iki kabuğu düşük yayınlı çift cam olan ve güneş kontrol elemanı olmayan çift kabuk cam cephe seçeneği enerji tüketimi açısından en etkin olan seçenektir.
- 1Ç30 kodlu düşük yayınlı çift cam ile oluşturulan tek kabuk cephe seçeneği yaşam dönemi maliyeti açısından en etkin olan seçenektir.
- Enerji tüketimi açısından; çift kabuk cam cepheler tek kabuk cam cephelere göre daha etkindirler. Dolayısıyla, yaşam dönemi enerji maliyetleri de daha düşüktür (Bakınız Şekil B.4). En fazla etkinlik ise, dış ve iç kabuğun çift camla oluşturulduğu seçeneklerde gerçekleşmektedir. Diğer taraftan, çift kabuk cam cephe seçeneklerinin toplam yaşam dönemi maliyetleri, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle tek kabuk cam cephe seçeneklerine göre daha yüksektir.
- Düşük yayınlı camlarla oluşturulan düzenleniş biçimleri, diğer camlarla yapılan düzenlemelere göre enerji etkinlik açısından en iyi sonuçları vermektedir. Düşük yayınlı camın dış kabukta kullanılması halinde, iç kabukta kullanılmasına oranla enerji tüketiminde % 4 kadar bir azalma sağlanmaktadır.
- Her iki kabukta da berrak camın kullanıldığı düzenleniş biçimleri, diğer camlarla oluşturulan düzenlemelere göre enerji kazancı açısından daha az etkindirler. Kabuklardan birinin berrak cam olması halinde, diğer kabukta düşük yayınlı cam kullanımı güneş kontrol camı kullanılmasına oranla daha etkin sonuç vermektedir.
- Güneş kontrol elemanı kullanımı; ilk yatırım maliyetlerini arttırmakla birlikte, kabuğun güneş enerjisi geçirgenliğini düşürerek yazın soğutma yüklerinin azalmasına, kışın ise ısıtma yüklerinin artmasına neden olmaktadır.

8. SONUÇLAR

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de, malzeme ve yapı teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak özellikle yüksek yapılarda cam cephe uygulamalarının sayısı hızla artmaktadır. Geleneksel sistemlere göre hızlı ve kolay bir şekilde uygulanabilir olmaları, hafif, uzun ömürlü ve yeniden kullanılabilen malzemeler ile oluşturulmaları, estetiği ve kolay temizlenebilir olmaları bu sonucu getirmektedir. Bununla birlikte, cam kabuk binanın ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine daha fazla görev yüklemekte ve bu durum binanın enerji tüketiminin ve buna dayalı olarak enerji maliyetlerinin artmasına, klima sistemlerinin sürekli kullanılması sonucunda kullanıcılarda bazı rahatsızlıklar oluşmasına yol açmaktadır. Bu sorunları çözmek amacıyla geliştirilen ve özellikle gelişmiş ülkelerde önemli ölçüde uygulanmakta olan çift kabuk cam cephe sistemlerinin gelecek yıllarda ülkemizde de uygulanabileceği düşüncesi ile, tezde bu sistemlerin enerji ve ekonomik etkinliklerinin değerlendirilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada; cam cepheye etki eden etmenlere, kullanıcı gereksinimlerine ve cepheden beklenen özelliklere bağlı olarak enerji ve ekonomik etkin seçeneklerin seçimi sorununa yöneylem araştırmasında izlenen yol ile çözüm aranmıştır. Bu amaçla;

- I. Sorunun düzenlenmesi
- II. Modelin kurulması
- III. Sorunun çözümü (Karşılaştırma ve seçim)
- IV. Uygunluk kontrolü

süreçlerine dayalı bir yaklaşım yapılmakta ve seçimde yer alan tüm ögelerin girdi – süreç – çıktı ilişkisi içinde düzenlendikleri bir strüktür oluşturulmaktadır. Altıncı bölümde oluşturulan bu strüktür içerisindeki bütünlüğün sağlanmasına yardımcı olan bilgiler ise Bölüm 2–5’de açıklanmaktadır. Tez içerisinde tüm bölümlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Birinci bölümde tezin yapılmasındaki amaç ve tezde izlenen yöntem ortaya koyulmaktadır.
2. İkinci bölümde; çift kabuk cam cepheler hakkında açıklanan bilgiler doğrultusunda bu cephe sistemlerini oluşturan bileşenler saydam paneller, opak paneller, taşıyıcı bileşenler, tespit bileşenleri, havalandırma boşluğu, güneş kontrol elemanı ve yürüme yolu olarak belirlenmektedir.
3. Üçüncü bölümde; bir cam cephenin enerji ve ekonomik etkinliğine öncelikli olarak etki eden etmenler, doğal ve yapay çevreye bağlı etmenler ile ekonomik etmenler olarak belirlenmekte ve bu etmenler etkisindeki bir cam cepheden beklenen performans gereksinimleri, özellikleri ve ölçütleri ortaya koyulmaktadır.
4. Dördüncü bölümde; enerji tüketiminin denetlenmesi amacıyla güneş ışınımının, iletim yoluyla ısı geçişinin ve hava sızıntılarının kontrolüne, doğal havalandırmanın sağlanmasına yönelik önlemler ortaya koyulmaktadır. Bunlar; cephenin ısıl performansı yüksek malzemelerle oluşturulması, gölgeleme elemanı kullanılması, bileşenlerin ısı geçirgenlik direncini arttıracak şekilde düzenlenmeleri, derzlerde sızdırmazlığın sağlanması ve doğal havalandırmaya imkan sağlayacak bir boşluğun oluşturulması olarak sıralanmaktadır.
5. Beşinci bölümde; cam cephenin enerji etkinliğinin enerji yükü analizleri yapan bilgisayar simülasyon programlarından, ekonomik etkinliğinin ise yaşam dönemi maliyet analizi yönteminden yararlanılarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmaktadır.
6. Altıncı bölümde varılan sonuçlar; önerilen yaklaşımda yer alan süreçlere göre aşağıda sıralanmaktadır:
 - Sorunun düzenlenmesi sürecinde; etmenler ve kullanıcı gereksinimleri doğrultusunda belirlenen amaçlar, zorunluluklar, performans gereksinimleri, özellikler ve ölçütler ile kabuk değişkenlerine bağlı olarak seçenekler geliştirilmektedir.
 - Geliştirilen seçeneklerin objektif olarak değerlendirilebilmesi amacıyla; enerji tüketimlerinin ve toplam yaşam dönemi maliyetlerinin sayısal olarak belirlenmesine imkan tanıyan bir model kurulmaktadır.

✓ Seçeneklerin enerji tüketimleri (E_{TT});

* Yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi yüklerine (E_I , E_S),

* Isıtma ve soğutma sistemi etkinliğine (i , s)

bağlı olarak:

$$E_{TT} = E_I / i + E_S / s$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

✓ Seçeneklerin toplam yaşam dönemi maliyetleri ($TYDM$) ise;

* İlk yatırım maliyetlerine (M_Y),

* Yaşam dönemi enerji maliyetlerinin bugünkü değerlerine (M_{TYB}),

* Yaşam dönemi bakım – onarım maliyetlerinin bugünkü değerlerine (M_{TBB})

bağlı olarak:

$$TYDM = M_Y + M_{TYB} + M_{TBB}$$

şeklinde belirlenebilmektedir.

- Seçim için, enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyeti en fazla olan seçeneğin ülke ve bina sahibi açısından bir fayda sağlamadığı düşünülürse, diğer seçeneklerin bu seçeneğe göre hesaplanan etkinlik yüzdelerinin karşılaştırılması uygun bir yol olarak görülmektedir. Karşılaştırma sonucunda;

✓ Ülke kaynaklarının optimum kullanımı açısından en az enerji tüketen seçenek,

✓ Bina sahipleri açısından toplam yaşam dönemi maliyeti minimum olan seçenek,

✓ Çift kabuk cephe sistemleri için uygun bileşen özellikleri

belirlenebilmektedir.

7. Yedinci bölümde; İstanbul'daki bir ofis binasının cephesi için bir uygulama yapılarak önerilen yaklaşımın kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bu uygulama sonucunda,

✓ Enerji tüketimi açısından en etkin olan seçeneğin her iki kabuğunun düşük yayımlı çift camla oluşturulduğu çift kabuk cam cephe seçeneği olduğu ve bu seçeneğin en fazla enerji tüketen berrak çift camla oluşturulan tek kabuk cephe seçeneğine göre;

yıllık enerji tüketiminde % 35.16 oranında bir azalma sağladığı görülmüştür.

- ✓ Yaşam dönemi maliyeti açısından en etkin olan seçeneğin ise, düşük yayınlı çift camla oluşturulan tek kabuk cam cephe seçeneği olduğu ve bu seçeneğin toplam maliyeti en fazla olan dış kabuğun düşük yayınlı çift cam iç kabuğun berrak çift cam ile oluşturulduğu çift kabuk cam cephe seçeneğine göre; toplam yaşam dönemi maliyetinin % 55.97 daha etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca, tezde çift kabuk cam cepheler için etkin olan seçeneklerin belirlenmesi amaçlandığı için; toplam maliyeti en düşük olan çift kabuk cam cephe seçeneği de belirlenmiştir. Dış kabukta güneş kontrol camının iç kabukta berrak camın kullanıldığı bu seçenek, yaşam dönemi maliyeti en fazla olan seçeneğe göre % 28.66 daha etkindir.
- ✓ Her iki kabukta çift camın kullanıldığı bileşen konumunun ve düşük yayınlı camla oluşturulan düzenlemelerin çift kabuk cam cepheler için enerji tüketimi açısından etkin sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Yukarıda sıralanan sonuçlara dayanılarak, tezde çift kabuk cam cephelerin değerlendirilmesi amacıyla önerilen yaklaşımın;

- Enerji tüketiminin,
- Toplam yaşam dönemi maliyetinin

denetlenmesine yönelik çalışmalarda temel alınabilecek bilimsel bir nitelik taşıdığını söylemek mümkündür. Bu yaklaşımdan yararlanılarak, yapılması önerilen çalışmalar aşağıda sıralanmaktadır:

- ✓ Yapı sektöründeki firmaların bu yaklaşımdan yararlanarak; şu an tek kabuk cam cephe uygulamalarında kullandıkları malzeme ve cephe sistemlerinin, çift kabuk cam cephe sistemlerinde enerji tüketimi ve toplam yaşam dönemi maliyeti açısından sağlayacakları etkinliği değerlendirmeleri ve etkinliğini artırıcı yönde iyileştirmeler yapmaları mümkün olabilecektir.

- ✓ Yaklaşımından yararlanılarak; tezde uygulama bölümünde seçilen malzeme ve cephe sistemleri ile oluşturulan seçenekler dışında, çok sayıda farklı seçenek için de değerlendirme yapılabilecektir.
- ✓ Yaklaşım; kaynak kullanımının ve buna bağlı olarak kullanım maliyetinin ve çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla, cepheden kaynaklanan enerji tüketimi için belli bir sınır değeri belirlenmesine ve bu değeri sağlayabilecek etkin bileşen özelliklerinin standartlaştırılmasına yönelik bilimsel çalışmalarda kullanılabilecektir.



KAYNAKLAR

- [1] **Harris, J. Elkadi, H. and Wigginton, M.**, 1998. A Case Study of the Intelligent Skin, Araştırma Raporu, University of Plymouth, UK..
- [2] **Prior, J.**, 1993. Environmental Assesment for new office designs, BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assesment Method)/New Offices, Version 1/93, *BRE report*, UK.
- [3] **Twinn, C.**, 1997. Sustainable Architecture and the Low-Energy Urban Office, European Directory of Sustainable and Energy Efficient Building, James & James Ltd.
- [4] **Anonim**, 1993. Declaration of Interdependence for a Sustainable Future, UIA/AIA World Congress of Architects, Chicago.
- [5] **Atkin, Brian**, 1988. Intelligent Buildings: Applications of IT and Building Automation to High Technology Construction Projects, Kogan Page Limited, Great Britain.
- [6] **Bordass, W.T., Bromley, A.K.R. and Leaman, A.J.**, 1995. Comfort, control and energy efficiency in offices, *BRE Information Paper, IP3*, BRE, UK.
- [7] **Jang, J. and Peng, H.**, 2000. Decision support to the application of intelligent building technologies, *Renewable Energy* 22, Elsevier Science Ltd..
- [8] **Sala Marco**, 1994. The Intelligent Envelope: The Current State of the Art, *Renewable Energy*, Vol:5, Part:II.
- [9] **Boyd, D.**, 1994. Alfred Waller Ltd., University of Central England.
- [10] **Skelly, M.**, 2000. The individual and the intelligent façade, *Building Research&Information*, Vol:28, PT:1.
- [11] **Harris, J. Elkadi, H. and Wigginton, M.**, 1998. The Evaluation of The Intelligent Skin, *Renewable Energy*, Special Issue, Energy Efficiency, policy, and the Environment, Part III, Pergamon, London, UK.
- [12] **Compagno, Andrea**, 1996. Intelligent Glass Facades: Material – Practice - Design, Birkhauser Verlag, Berlin, Deutschland.
- [13] **Lang, Werner and Herzog, Thomas**, 2000. Using multiple glass skins to clad buildings, *Architectural Record*.
- [14] **Anonim**, 1999. *Schüoco- Object- Report, I/99*, Deutschland.

- [15] **Davies, M.**, 1981. A Wall for all Seasons, *RIBA Journal*, Vol 88, No: 2.
- [16] **Wigginton, M.**, 1998. Glas und Architektur, May 1998, *DETAIL* –Bauen mit Glass.
- [17] **Krewinkel, H. W.**, 1998. Glass Buildings - Material, Structure and Detail, Germany (Translation into English by Gerd Söffker ve Philip Thrift).
- [18] **Anonim**, 1997. " Breeze Soleil", *Building*, Issue No: 26, Volume: CCLXII, No: 7997.
- [19] **Harrison, A., Loe, E. and Read, J.**, 1998. Intelligent Buildings in South East Asia, E&FN SPON.
- [20] **Bielefeld, H. – W.**, 1997. Doppelfassadentechnik - Ein Konstruktionsprinzip zur Energieeinsparung, *Deutsche Bauzeitschrift*, sayı: 10.
- [21] **Anonim**, 1998. Glass and Transparency, May 1998, *Architectural Review*.
- [22] **Evans, B.**, 1997. Through the glass cylinder, *The Architects' Journal*, Volume: 205, No: 19, May 1997, Emap Business Communications Limited, Cradley Print Ltd., UK.
- [23] **Lieb, R. D. and Oesterle, E.**, 1998. Das Düsseldorfer Stadttor - Exercising an Integrated Approach to Double Facade Planning, *A Proceeding at International Conference on Building Envelope Systems and Technology*, Ekim 1998, CWCT, University of Bath, UK.
- [24] **Compagno, A.**, 1994. Die Intelligente Glashaut, *Bauwelt*, Vol: 85, No: 26.
- [25] **Schwab, A.**, 1996. Neue Konzepte mehrschaliger Glasfassaden, *Deutsches Architektenblatt*, 3+4 / 1996, Deutschland.
- [26] **Anonim**, 1996. ARCHITECTURE Steel Stahl Acier, European Convention for Constructional Steelwork, Belgium.
- [27] **Rawson, J.**, 1997. Glass Act, *The Architects' Journal*, Vol:205, No: 23.
- [28] **Aygün, M.**, 1996. Giydirmeye Cephelerde Sistem Seçimi, Araştırma Projesi, İ.T.Ü. Araştırma Fonu, İstanbul.
- [29] **Anonim**, 1999. Cam Yapı Elemanları Kataloğu, ŞİŞECAM Camtaş Düzcamlar Pazarlama A.Ş.
- [30] <http://www.pilkington.com/sunmanagement>, 2000. İnternet..
- [31] **Anonim**, 1997. Energy – Efficient Window Glazing Systems for Commercial Facilities, Application Note, *PG&E Energy Efficiency Information*, Pasific Gas and Electric Company.
- [32] **Evans, B.**, 1996. New Glass and Specification, *The Architect's Journal*, Vol: 203, No: 5, Emap Communications, London, UK.

- [33] **Roche, L.**, 1997. Smart Glass, *Building Services Journal*, August 1997, CIBSE, London, UK.
- [34] **Anonim**, 1993. Standard and Guide to Good Practice for Curtain Walling, Bath, Centre for Window and Cladding Technology, University of Bath, UK.
- [35] **Horowitz, J. M.**, 1991. The Interrelation of Exterior Wall and Structural Systems in Building - Exterior Systems: Glass and Concrete Technology, Design and Construction, ASTM STP 1034, B. Donaldson, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- [36] **Michael, T.K.**, 1993. Waterproofing the Building Envelope, McGraw-Hill.
- [37] **Amstock, J.S.**, 1997. Handbook of Glass in Construction, McGraw-Hill.
- [38] **Özkan, E.**, 1976. Yapım Sistemlerinin Seçimi İçin Bir Yöntem, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi.
- [39] **Anonim**, 1981-1990. T.C. Başbakanlık, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Arşiv Kayıtları, Ankara.
- [40] **Givoni, B.**, 1969. Man, Climate and Architecture, Elsevier Publishing Company Limited.
- [41] **Aygün, M.**, 1992. Giydirmeye Cephe Çift Cam Ünitelerinde Rasyonel Boyut Seçimi, *Doktora tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] **Duffie, J.A. and Beckman, W.A.**, 1980. Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley and Sons, New York.
- [43] **Goulding, J.R., Lewis, J.O. and Steemers, T.C.**, 1992. Energy Conscious Design - A primer for Architects, B.T. Batsford Ltd., UK.
- [44] **Button, D. and Pye, B.**, 1993. Glass in Building - A Guide to Modern Architectural Glass Performance, Pilkington Glass Limited.
- [45] **Howell, Y. and Bereny, A.J.**, 1979. Engineer's Guide to Solar Energy, Solar Energy Information Services, USA.
- [46] **İklimlendirme** (Berköz, E., Yılmaz Aygün, Z., Kocaaslan, G., Yıldız, E., Ak, F.) **ve Aydınlatma Grubu** (Küçükdoğu, M., Enarun, D., Ünver, R., Köknel Yener, A., Yıldız, D.), 1995. Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, Proje No: İNTAG 201, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, İstanbul.
- [47] **Chalkley, J.N. and Cater, H.R.**, 1968. Thermal Environment, The Architectural Press Ltd., London, UK.
- [48] **Fanger, P.O.**, 1970. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Company, U.S.A.

- [49] **Carrier, W. H., Cherne, R. E., Grant, W. A. and Roberts W.,H.,** 1959. Modern Air Conditioning, Heating, and Ventilation, Pitman Publishing Corporation.
- [50] **Okan, A.,** 1975. Bina Tasarımında Performans Yaklaşımı İle Maliyet Denetimi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [51] **Seeley, I.H.,** 1983. Building Economics, Camelot Press Ltd., UK.
- [52] **Anonim,** 1994. Façade Engineering –a research survey, Centre for Window and Cladding Technology, UK.
- [53] **Rich, P. and Dean, Y.,** 1999. Principles of Element Design, Butterworth-Heinemann, UK.
- [54] **Harris, R.M. and Willmott, A.A.,** 1999. Overhead Glazing- A Designer's Checklist, Glass in Buildings – Proceedings, University of Bath, UK.
- [55] **ASTM E 283-91,** 1996. Standard Test Method for Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls and Doors by Uniform Static Air Pressure Difference, Vol.4.07, *ASTM*, Philadelphia, USA.
- [56] **Brand, R.,** 1990. Architectural Details for Insulated Buildings, Van Nostrand Reinhold, USA.
- [57] **Josey, B.,** 1986. Curtain Walls, *The Architects' Journal*, July 1986, Architectural Press.
- [58] **ASTM E 331-93,** 1996. Standard Test Method for Water Penetration of Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors by Uniform Static Air Pressure Difference, Vol.4.07, *ASTM*, Philadelphia, USA.
- [59] **ASTM E 547-93,** 1996. Standard Test Method for Water Penetration of Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors by Cyclic Static Air Pressure Difference, Vol.4.07, *ASTM*, Philadelphia, USA.
- [60] **Dunster, D.,** 1996. Arups on Engineering, Ernst&Sohn, Berlin, Deutschland.
- [61] **BRE Digest 379,** 1993. Double Glazing for heat and sound insulation, Building Research Establishment, UK.
- [62] **Yücesoy, L.,** 1989. Yapılarda Isı ve Buhar Etkisi - Bağlantı, Çizelge, Şekil ve Yönetmelikler, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [63] **TS 825,** 1998. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [64] **ASHRAE Handbook,** 1997. Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers, I-P Edition, USA.
- [65] **TS 4049,** 1984. Pencere ve Camlı Dış Kapıların Hava sızdırganlığı Tayin Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [66] **DIN 1055**, 1938. Lastannahmen im Hochbau; Verkehrslasten _ Windlast, Teil 4, Berlin, Deutschland.
- [67] **Daniels, K.**, 1997. The Technology of Ecological Building Basic Principles, Examples and Ideas, Birkhauser Verlag, Berlin, Deutschland.
- [68] **Daniels, K.**, 2000. Low-Tech Light Tech High Tech: Building in the information age, Birkhauser Verlag, Berlin, Deutschland.
- [69] **BRE Digest 355**, 1990. 'Energy Efficiency in Dwellings', Building Research Establishment, Watford, UK.
- [70] **Anonim**, 1986. 'Case Studies on Measures for Energy Efficient Shelter and Infrastructure', United Nations Centre for Human Settlements (Habitat), Nairobi.
- [71] **Watson, D. and Labs, K.**, 1983. 'Climatic Building Design Design-Energy Efficient Building Principles and Practices', McGraw-Hill, USA.
- [72] **Rawson, H.**, 1991. 'Glasses and Their Applications', The Institute of Metals.
- [73] **Johnson, T.E.**, 1981. 'Solar Architecture-The Direct Gain Approach', Massachusetts Institute of Technology, McGraw-Hill, USA.
- [74] **Carter, C. and Villiers, J.**, 1987. 'Principles of Passive Solar Building Design, Pergamon Press, USA.
- [75] **Cowan, H.J.**, 1980. 'Solar Energy Applications in the Design of Buildings', Applied Science Publishers Ltd., UK.
- [76] **ASHRAE Handbook**, 1993. Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers, I-P Edition, USA.
- [77] **BRE Digest 399**, 1994. 'Natural Ventilation in non-domestic buildings, Building Research Establishment, Watford, UK.
- [78] **Nashed, F.**, 1996. 'Time Saver Details for Exterior Wall Design', McGraw-Hill, USA.
- [79] **Sodha, M.S., Bansal, N.K., Bansal, P.K., Kumar, A. and Malik, M.N.S.**, 1986. Solar Passive Building-Science and Design, Vol: 2, Pergamon Press, USA.
- [80] **Steadman, P.**, 1975. Energy, Environment and Building, Appendix 1: Energy Conservation Checklist from Fred Dubin, Cambridge University Press, USA.
- [81] **Sey, Y. ve Tapan, M.**, 1976. Değerlendirmede Temel Sorunlar ve Mimarlıkta Değerlendirme, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Araştırma Kurumu Yayınları, Sayı: 11, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [82] **Sneck, T.** 1973. On the Structure of Performance Concept, Technical Research Centre of Finland, Helsinki.

- [83] **Yıldırım, C.**, 1973. *Bilim Felsefesi, Gerçek Yayınevi, İstanbul.*
- [84] **Arıoğlu, N.**, 1993. *Yapı Ürünlerinin Seçimi İçin Bir Yöntem, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.*
- [85] **Özkan, E.**, 1994. *Yapı Elemanlarında Isı Yalıtımı Ekonomisi ve Malzeme Kalınlığının Isı geçirgenliğine Marjinal etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, Cilt: 52, Sayı: 1-2, İstanbul.*
- [86] **Marshall, H.E. and Ruegg, R.T.**, 1980. 'Energy Conservation in Buildings: An Economics Guidebook for Investment Decisions', National Bureau of Standards Handbook 132, U.S. Department of Commerce, USA.
- [87] **Bledsoe, J.D.**, 1992. *Successful Estimating Methods...from Concept to Bid, RS Means Construction Consultants&Publishers, Kingston, USA.*
- [88] **Baird, G., Gray, J., Isaacs, N., Kernohan, D. and McIndoe, G.**, 1996. *Building Evaluation Techniques, McGraw Hill, USA.*
- [89] http://www.eren.doe.gov/building/tools_directory, 2001. İnternet.
- [90] **Sekhar, S.C. and Toon, K.L.C.**, 1998. On the study of energy performance and life cycle cost of smart window, *Energy and Buildings*, Vol: 28, No:2.
- [91] **Özkan, E., Altun, C., Tavil, A. ve Şahal, N.**, 1997. *Mevcut Konutların Rehabiliyasyonunda Yapı Dış Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenerek Geliştirilmesi, TÜBİTAK, İNTAG/TOKİ 223, İstanbul.*
- [92] <http://www.archone.tamu.edu/energy/papers.html>, 2000. İnternet..
- [93] **Yik, F.W.H., Burnett, J., Jones, P. and Lee W.L.**, 1998. Energy Performance criteria in the Hong Kong Building Environmental Assesment Method, *Energy and Buildings*, Volume: 27.
- [94] **Aygün, M., Çetiner, İ. ve Göçer, C.**, 1999. *Yapı Elemanlarında Seçenek Üretimi ve Değerlendirilmesi, TÜBİTAK, İNTAG 108, İstanbul.*
- [95] **Newnan, D.G.**, 1983. *Engineering Economic Analysis, Engineering Press, Inc., California, USA.*
- [96] <http://www.dpt.com.tr>, 2001. İnternet..
- [97] **Pekşık, G.**, 2000. *Kişisel görüşme, Şişecam – Teknik Hizmetler Müdürlüğü.*
- [98] **Van Dijk, D. and Goulding, J.**, 1996. *WIS (Advanced Windows Information System) Reference Manual, TNO Buiding and Construction Research, Netherlands.*
- [99] **Degelman, L.O.**, 1999. *ENERWIN 97.02 User's Manual, Department of Architecture, Texas A&M University, Texas, USA.*
- [100] **Byungseon, S.K. and Degelman, L.O.**, 1998. *An interface system for computerized energy analyses for building designers, Energy and Buildings*, Vol: 27.

EKLER

Ek A Seçeneklerin Enerji ve Ekonomik Etkinliklerinin Belirlenmesi Amacıyla Yapılan Uygulamada Araç Olarak Kullanılan Bilgisayar Programlarının Tanıtılması.

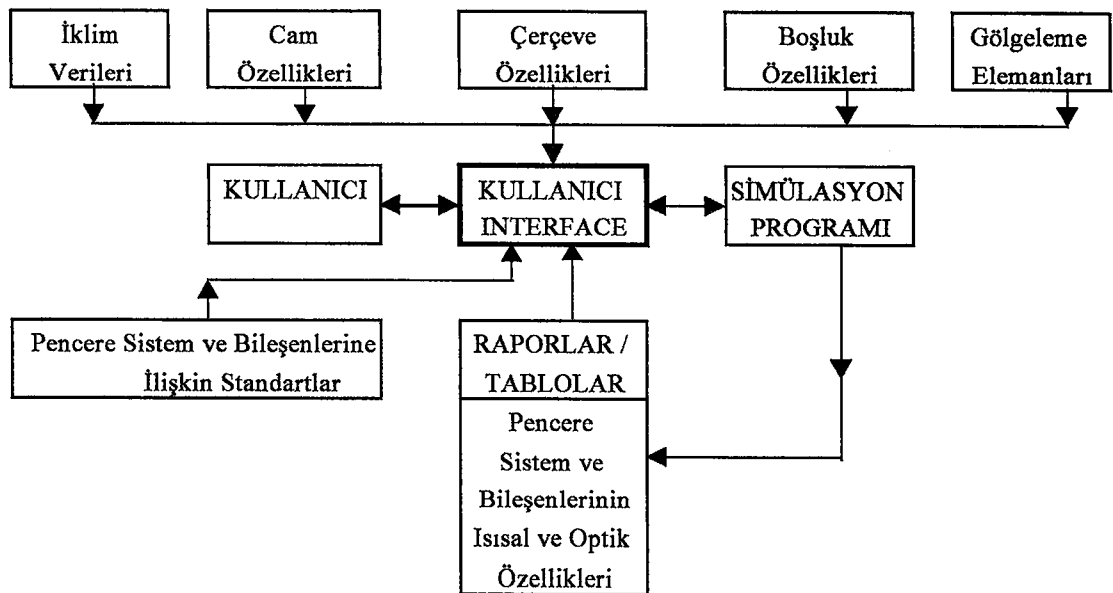
A.1 WIS Bilgisayar Programı

WIS programı; Avrupa Komisyonu desteğinde ve TNO Building and Construction Research Department (Delft, Hollanda) tarafından koordine edilen JOULE II Programı çerçevesinde geliştirilmiştir. CSTB (Fransa), Fraunhofer Institute for Building Physics (Almanya), AICIA (Universidad de Sevilla, İspanya), EMPA (İsviçre), University College Dublin (İrlanda), Conphoebus s.c.r.l. (İtalya) and University of Athens (Yunanistan) çalışmada yer alan diğer gruplardır.

Program; pencere bileşen ve sistemlerinin ısısal ve solar özelliklerini belirlemede, bina ve tasarımcılarının ve bileşen üreticilerinin yararlanabileceği ortak bir Avrupa yazılım paketi oluşturmayı amaçlayan bir çalışmanın ürünüdür [98, s.IV].

A.1.1 Programı Oluşturan Modüller

Program kullanıcı Interface ve simülasyon programı olmak üzere başlıca iki modülden oluşmaktadır. Şekil A.1'de programı oluşturan modüller arasındaki ilişkiler görülmektedir.



Şekil A.1 WIS programını oluşturan modüller arasındaki ilişkiler.

A.1.2 Program İçin Gerekli Olan Veriler

- İklimsel veriler:
İç ve dış hava sıcaklığı,
Direkt solar radyasyon,
İç ve dış yüzey film katsayıları.
- Çerçeve sistemine ilişkin veriler:
Malzeme tipi,
Isı geçirme katsayısı,
Boyutu.
- Saydam sisteme ilişkin veriler:
Camın malzeme özellikleri (direkt geçirgenlik, güneş enerjisini dışa-ıçe yansıtma, görünür geçirgenlik, görünür yansıtıcılık, yayınım özellikleri),
Camın boyutsal özellikleri (genişliği, kalınlığı),
Boşluk genişliği,
Boşluktaki gazın tipi (hava, argon ya da kripton),
Güneş kontrol elemanının malzeme özellikleri (geçirgenlik, yansıtıcılık, yayınım),
Güneş kontrol elemanının boyutsal özellikleri.
- Cam tutucunun malzemesi (alüminyum, çelik ya da silikon).

A.1.3 Hesap Yöntemi

- Program pencere sisteminin toplam ısı geçirme katsayısının hesabında; saydam kısımdan, çerçeveden ve cam kenarından kayıpları dikkate alan aşağıdaki formülden yararlanmaktadır:

$$U_w = \frac{U_{tr} \cdot A_{tr} + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_{tr} + A_f}$$

- U_w : Pencere sisteminin ısı geçirme katsayısı (W/m^2K).
 U_{tr} : Saydam kısmın ısı geçirme katsayısı (W/m^2K).
 A_{tr} : Saydam kısmın görünen alanı (m^2).
 U_f : Çerçevenin ısı geçirme katsayısı (W/m^2K).
 A_f : Çerçevenin alanı (m^2).
 Ψ_g : Doğrusal ısı geçirme katsayısı (W/mK).
 l_g : Saydam kısmın toplam çevre uzunluğu (m).

- Pencere sisteminin toplam güneş ısı kazanç katsayısının hesabında aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$SHGC_{tr} = \frac{\text{İçeriye doğru güneş enerjisi kazancı}}{\text{Dışarıdan gelen güneş ışınımı}}$$

$$SHGC_w = g_{tr} \cdot A_{tr} / A_w$$

SHGC_w : Pencere sisteminin güneş ısı kazanç katsayısı.
SHGC_{tr} : Saydam kısmın güneş ısı kazanç katsayısı.

- Boşluktaki baca etkisi nedeniyle oluşan hava akışı ve sıcaklıklar; aşağıdaki denklemlerden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Söz konusu parametreler Şekil A.2'de görülmektedir.

$$G_s = C_d A_{eq} [2 \cdot dT \cdot g / (H \cdot T_{am})]^{0.5}$$

G_s : Boşluktaki hava akışı (m³/h). C_d : 0.61 (Akış katsayısı).
 H : Pencere yüksekliği. W : Pencerenin genişliği (m).

$$A_{eq} = (1/A_e^2 + 1/A_t^2)^{-0.5}$$

A_e : Hava giriş kesitinin alanı (m²). A_t : Hava çıkış kesitinin alanı (m²).

$$dT = T_{am} - T_{in}$$

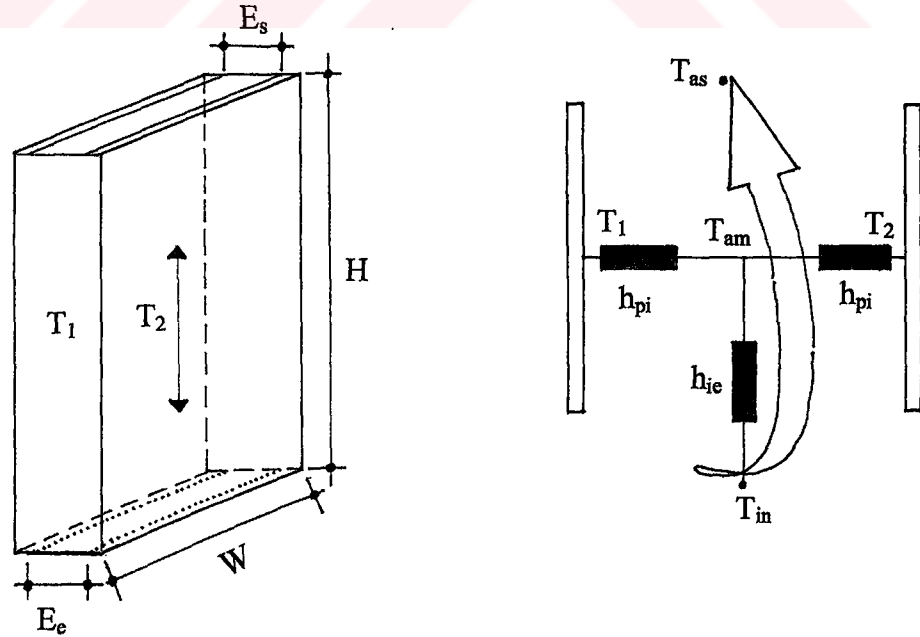
T_{am} : Boşluğun ortalama sıcaklığı. T_{in} : Boşluğa giren havanın sıcaklığı.

$$G_s = C_2 dT^{0.5} \quad (C_2 = 0.156 A_{eq} H^{-0.5})$$

$$T_{am} = dT + T_{in} = T_n / (1 + 1.5 Gr) + T_{in}$$

$$Gr = \rho_{air} \cdot c_{air} \cdot G_s / (2 \cdot h_{pi})$$

ρ_{air} : Havanın yoğunluğu (kg/m³).
 c_{air} : Havanın ısısal kapasitesi (J/kg).
 h_{pi} : Cam tabaka (T_1 ya da T_2) ve hava arasındaki ısıl taşınım katsayısı.



Şekil A.2 Pencere sistemindeki hava akışı ve sıcaklıklar.

$$T_n = \text{abs} [(T_1 + T_2) / 2 - T_{in}]$$

- T_1 : Birinci tabakanın sıcaklığı.
 T_2 : İkinci tabakanın sıcaklığı.
 T_n : Boşluktaki bir n noktasındaki sıcaklık.

$$dT = T_{in} / (1 + 1.5 \cdot Gr)$$

$$G_s = C_2 dT^{1/2}$$

$$V = G_s \cdot H / d$$

$$h_{pin} = 2 \cdot g_{cond}$$

$$h_{pi} = h_{pin} + A_v \cdot V$$

$$h_{ie} = 2 \cdot h_{pi} \cdot [\text{abs}(T_n) - \text{abs}(dT)] / \text{abs}(dT)$$

- V : Boşluktaki hava hızı.
 d : İki cam tabaka arasındaki mesafe.
 g_{cond} : Kapalı hava boşluğunun ısı iletkenliği.
 A_v : Bir katsayı ($4 \text{ W/m}^2\text{K}$ e eşit alınmaktadır).
 h_{ie} : T_{in} ve T_{am} arasındaki ısı taşıma katsayısı.

A.2 ENER-WIN Bilgisayar Programı

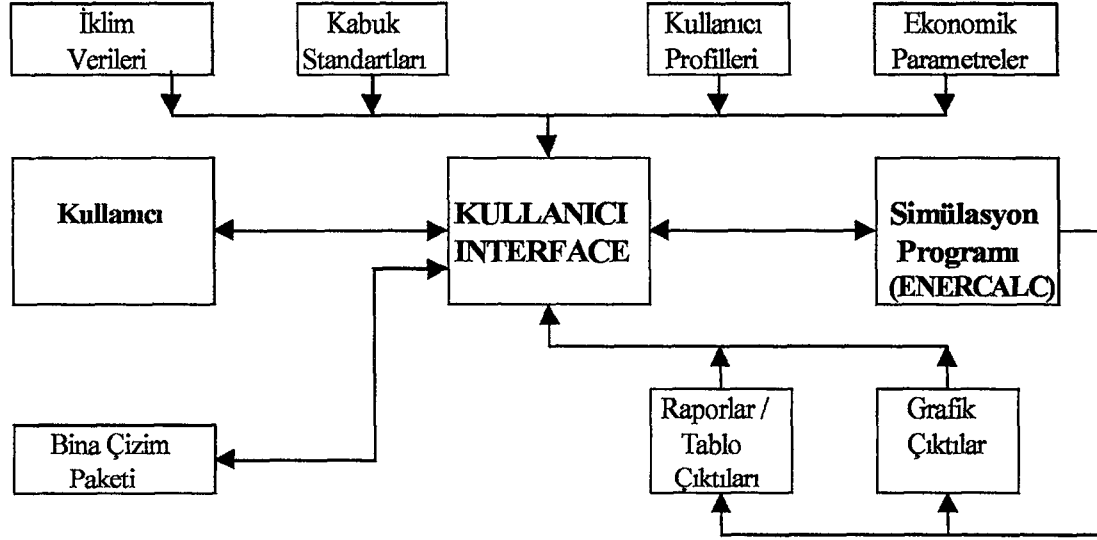
Texas A&M Üniversitesi Mimarlık Fakültesi tarafından DOE sponsorluğunda geliştirilen ENER-WIN (The Windows Version of Energy Calculations for Building) programı, enerji tüketimine etki eden bina tasarım parametrelerine ilişkin optimum değerlerin belirlenmesine yardımcı olan bir tasarım aracıdır. Program, bina tasarımcılarının önerilen bina için ne kadar enerji gerektiğine ve bu enerjinin bilinçli bir tasarım ile ne kadar azaltılabileceğine ilişkin sorulara cevap bulmalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Sağladığı imkanlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Toplam yıllık enerji tüketimini ve toplam enerji kullanım faktörünü hesaplamak yoluyla binaların yıllık enerji performansını tahmin edebilmektedir.
- Yıllık enerji tüketiminin ve maliyetinin azaltılması amacıyla, bina düzenlemelerinin ve ısısal özelliklerinin araştırılmasına imkan tanımaktadır. Çeşitli seçenekler girdi dosyasındaki değerlerin değiştirilmesi ile kolaylıkla karşılaştırılabilmektedir.
- Yıl içerisinde seçeneklerin en yüksek ısıtma ve soğutma yüklerini tahmin etmektedir.

A.2.1 Programı Oluşturan Modüller

Program Visual Basic dilinde yazılan kullanıcı interface ve Fortran dilinde yazılan simülasyon programı olmak üzere iki ana modülden oluşmaktadır. *Kullanıcı interface*, dört alt modülden gelen verileri düzenleyerek enerji hesabı yapan ana simülasyon motoruna (ENERCALC) göndermektedir. ENERCALC çalıştığı sırada

kullanıcı programla etkileşimde değildir. Simülasyon tamamlandığında çıktılar grafik ve tablo formatında kullanıcıya sunulmaktadır. Şekil A.3'de her iki ana modül ve alt modüller arasındaki ilişkiler gösterilmektedir [99, s.2].



Şekil A.3 ENER-WIN programını oluşturan modüller arasındaki ilişkiler.

Hava verileri alt modülü; iklimsel verileri kullanarak dış hava ve çiğlenme noktası sıcaklıklarının, rüzgarın ve atmosfer koşullarının günlük değerleri ile direkt ve yaygın güneş ışıınının, güneş açıların (yükseklik ve azimut açıları), rüzgar hızının, dış hava sıcaklığının, çiğlenme noktası sıcaklığının, bağıl nemin ve atmosfer basıncının saatlik değerlerini hesaplamaktadır.

Kabuk standartları alt modülü; herhangi bir duvar, çatı ya da cam bileşen için seçim yapılabilen bir malzeme kataloğudur. Diğer taraftan yeniden tanımlanmaları da mümkündür. Bu doğrultuda; her malzemenin ısı geçirgenliğinin, kalınlığının, yoğunluğunun ve güneş ışıınınına karşı emiciliğinin, cam bileşenler için ise; ısı geçirme katsayısı, güneş ısı kazanı katsayısı, yayılım katsayısı (emissivity coefficient) ve ışık geçirgenlik faktörü değerlerinin girdi olarak girilmesi gerekmektedir [100, s.98].

Kullanıcı profilleri alt modülü; günlük sıcak su kullanımının, aydınlatma ve elektrik yüklerinin, havalandırma oranlarının, kış - yaz döneminde iş günü ve tatil günlerine ait sıcaklık profillerinin yer aldığı bir katalogdur. Bu katalogda profiller binanın işlevine (ofis, ilköğretim, hastane, otel, vb.) göre belirlenmektedirler.

Ekonomik analiz alt modülü; önerilen alternatiflerin ekonomik olarak geçerli olup olmadığını belirlemek amacıyla, ısıtma - soğutma - havalandırma - aydınlatma için gerekli olan enerji maliyetini yaşam dönemi maliyet analizi ile hesaplamaktadır.

Raporlar; aylık ve yıllık ısıtma - soğutma yüklerinin, program tarafından hesaplanan iklimsel verilerin, havalandırma ve aydınlatma sistemlerine ilişkin hesap sonuçlarının simülasyon sonucunda grafikler ya da tablolarla ifade edildiği bir alt programdır.

Bina çizim paketi; binanın planının çizilmesine ve bölgelere ayrılmasına imkan tanıyan bir alt programdır. Bina çiziminin yapılmaması halinde mekanın tanımlanmasına ilişkin veriler girilememektedir.

A.2.2 Program İçin Gerekli Olan Veriler

Gerekli veriler; kullanıcı tarafından proje tanımlama, iklimsel veriler, ekonomik analiz, bina çizimi ve mekan tanımlama adı altında beş aşamada girilmektedir. Kullanıcı; girdilere ilişkin değerleri belli bir sıra izleyerek girmek zorundadır. İstenen düzende girilmediğinde, bir sonraki işleme geçilememektedir.

a. Projenin tanımlanması aşamasında girilmesi gereken veriler:

- Binanın işlevi,
- Bulunduğu şehir,
- Simülasyon yılı,
- Simülasyonun yapıldığı yıla ait tatil günleri,
- Mekanın bir hafta içinde kullanımda olduğu gün sayısı.

b. İklimsel veriler; program içerisinde yer alan katalogdan şehir isminin seçilmesi ile elde edilebildiği gibi, yeni bir şehir için o bölgeye ait değerlerin girilmesi de mümkündür. Program için gerekli olan iklimsel veriler aşağıda sıralanmaktadır:

- Enlem, boylam, saat dilimi ve denizden yükseklik,
- Aylık ortalama dış hava sıcaklıkları,
- Aylık ortalama dış hava sıcaklıklarının standart sapmaları,
- Ortalama günlük maksimum sıcaklıklar,
- Ortalama günlük maksimum sıcaklıkların standart sapmaları,
- Ortalama çiğlenme noktası sıcaklıkları,
- Ortalama çiğlenme noktası sıcaklıklarının standart sapmaları,
- Ortalama günlük yatay güneş ışıınımı değerleri,
- Ortalama rüzgar hızlarıdır.

c. Ekonomik analiz aşamasında gerekli olan veriler:

- Önerilen ekonomik yaşam süresi,
- Mekanik sisteme ait önerilen yaşam süresi,
- Solar sisteme ait yaşam süresi,
- İndirim oranı,
- Bina maliyetindeki yıllık artış oranı,
- Elektrik, gaz ve suya ait enerji maliyetleri ile yıllık artış oranları.

d. Bina çizimi aşamasında gerekli olan veriler:

- Mekanlara ilişkin boyutlar,
- Kat sayısı,
- Tavan yüksekliği,

e. Mekan tanımlama aşamasında gerekli olan veriler:

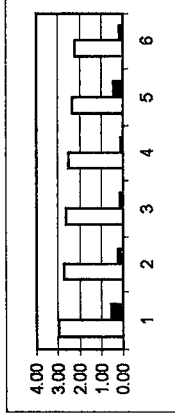
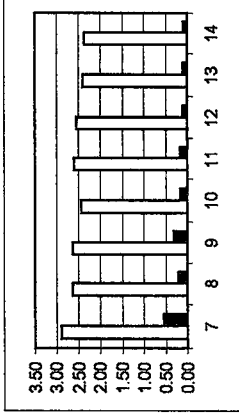
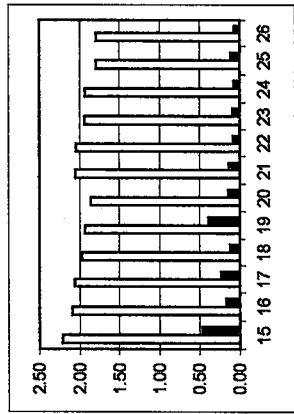
- Kullanıcı sayısı ve kullanıcıların mekanda bulunduğu süreler,
- Kişi başına kullanılan sıcak su hacmi ve sıcak su kullanım profili,
- Havalandırma oranı ve havalandırma profili,

- Aydınlatma tipi, aydınlatma maliyeti, aydınlatma kaynaklarının ve mekandaki diğer elektrik kullanan kaynakların güç yoğunlukları, güç yoğunluk profili,
- Sıcaklık profilleri,
- Isıtma – soğutma - havalandırma sistemlerinin tipleri ve kullandıkları enerji kaynakları,
- Doğal havalandırma yapılıp yapılmadığı,
- Hava sızıntısı oranı,
- Gün ışığının aydınlatmaya katkısı olup olmadığı,
- Dış duvarın ısı iletkenlik katsayısı, yüzey emicilik katsayısı, sıcaklık genlik küçültme faktörü ve zaman geciktirme değerleri ile m² başına yerleştirme maliyeti,
- Camın ısı iletkenlik katsayısı, güneş ısı kazanç katsayısı, yayılımı, ışık iletkenliği ve m² başına yerleştirme maliyeti,
- Dış yüzeyin maruz kaldığı şartların tanımlanması (Asfalt, beton, çimen, ağaç ya da su olması halinde geçerli yansıtıcılık değerlerinden biri seçilmektedir.),
- Zemin yansıtıcılığı,
- Çatı ya da dış duvar eğimi,
- Denizlik yüksekliği ve pencere üst seviyesinin yüksekliği,
- Perde, jaluzi, panjur gibi gölgeleme elemanı kullanılıp kullanılmadığı,
- Cam yüzey alanı.

Ek B Uygulama Sonuçlarına İlişkin Tablo ve Şekiller.



Tablo B.1 Kabuk Seçeneklerinin Hesap Sonucunda Belirlenen U ve SHGC Değerleri.
I-II-III-IV-V: Bileşen düzenlenme biçimlerine bağlı olarak oluşturulan gruplar (Bkz. Tablo 7.4).

KABUK DÜZENİ				□ U ■ SHGC
NO	KODLAR	U (W/m ² K)	SHGC	
I				
1	1Ç10	2.95	0.55	
2	1Ç11	2.70	0.24	
3	1Ç20	2.64	0.16	
4	1Ç21	2.53	0.11	
5	1Ç30	2.34	0.44	
6	1Ç31	2.21	0.19	
II				
7	2T110	2.90	0.55	
8	2T111	2.64	0.22	
9	2T120	2.64	0.31	
10	2T121	2.44	0.17	
11	2T210	2.60	0.16	
12	2T211	2.55	0.11	
13	2T220	2.40	0.12	
14	2T221	2.37	0.09	
III				
15	2TÇ110	2.21	0.47	
16	2TÇ111	2.09	0.17	
17	2TÇ120	2.06	0.23	
18	2TÇ121	1.97	0.12	
19	2TÇ130	1.93	0.39	
20	2TÇ131	1.86	0.14	
21	2TÇ210	2.05	0.13	
22	2TÇ211	2.04	0.08	
23	2TÇ220	1.94	0.09	
24	2TÇ221	1.93	0.07	
25	2TÇ230	1.79	0.11	
26	2TÇ231	1.79	0.07	

Tablo B.1 Devamı.

KABUK DÜZENİ				U	SHGC
NO	KODLAR	U (W/m ² K)	SHGC		
27	2CT110	2.20	0.47		
28	2CT111	2.09	0.27		
29	2CT120	2.08	0.33		
30	2CT121	1.99	0.23		
31	2CT210	2.06	0.13		
32	2CT211	1.97	0.10		
33	2CT220	1.96	0.11		
34	2CT221	1.88	0.09		
35	2CT310	1.82	0.38		
36	2CT311	2.02	0.25		
37	2CT320	1.70	0.30		
38	2CT321	1.93	0.22		
39	2CQ110	1.86	0.42		
40	2CQ111	1.79	0.22		
41	2CQ120	1.77	0.26		
42	2CQ121	1.72	0.18		
43	2CQ130	1.70	0.35		
44	2CQ131	1.66	0.18		
45	2CQ210	1.77	0.11		
46	2CQ211	1.72	0.08		
47	2CQ220	1.70	0.09		
48	2CQ221	1.65	0.07		
49	2CQ230	1.61	0.10		
50	2CQ231	1.57	0.07		
51	2CQ310	1.62	0.34		
52	2CQ311	1.76	0.21		
53	2CQ320	1.57	0.25		
54	2CQ321	1.70	0.18		
55	2CQ330	1.50	0.30		
56	2CQ331	1.61	0.17		

Tablo B.2 Kabuk Seçeneklerinin Yıllık Enerji Yükleri.

A: Geçirgenlikten kaynaklanan

C: Hava sızıntısından / Havalandırmadan kaynaklanan

I-II-III-IV-V: Bileşen düzenlenme biçimlerine bağlı olarak oluşturulan gruplar (Bakınız Tablo 7.4).

B: Güneş ışıınımdan kaynaklanan

D: Kütle etkisinden kaynaklanan

NO	KOD	YILLIK ISITMA YÜKLERİ kWh/YIL				YILLIK SOĞUTMA YÜKLERİ kWh/YIL				Yıllık Isıtma Yükü kWh/YIL	Yıllık Soğutma Yükü kWh/YIL	Toplam Enerji Yükü kWh/YIL	
		A	B	C	D	A	B	C	D				
I	1	IC10	-916338.89	554636.11	-1213788.89	-1135572.22	2472.22	547238.89	-102436.11	376877.78	-2711063.89	824152.78	3535216.67
	2	IC11	-854058.33	285116.67	-1237763.89	-1057858.33	19663.89	259297.22	-89244.44	362200.00	-2864563.89	551916.67	3416480.56
	3	IC20	-849822.22	205005.56	-1256166.67	-1051380.56	24344.44	172305.56	-91611.11	376875.00	-2952363.89	481913.89	3434277.78
	4	IC21	-823394.44	146330.56	-1259302.78	-1021302.78	25130.56	117963.89	-100802.78	372150.00	-2957469.44	414441.67	3371911.11
	5	IC30	-744330.56	436252.78	-1200238.89	-995755.56	7825.00	362947.22	-176238.89	401138.89	-2504072.22	595672.22	3099744.44
	6	IC31	-725583.33	201705.56	-1242575.00	-953791.67	17141.67	158238.89	-161138.89	387488.89	-2720244.44	401730.56	3121975.00
II	7	2IT110	-897836.11	549491.67	-1207188.89	-1115694.44	1125.00	543333.33	-106994.44	382416.67	-2671227.78	819880.56	3491108.33
	8	2IT111	-842325.00	266236.11	-1242891.67	-1049830.56	20252.78	236730.56	-93322.22	367755.56	-2868811.11	531416.67	3400227.78
	9	2IT120	-829938.89	347161.11	-1223766.67	-1035019.44	13930.56	330452.78	-99961.11	358577.78	-2741563.89	603000.00	3344563.89
	10	2IT121	-783530.56	210780.56	-1239408.33	-988552.78	20105.56	181283.33	-110538.33	371113.89	-2800711.11	461944.44	3262655.56
	11	2IT210	-837436.11	204250.00	-1252119.44	-986255.56	23758.33	172272.22	-94644.44	374252.78	-2871561.11	475638.89	3347200.00
	12	2IT211	-825311.11	146052.78	-1258408.33	-1041997.22	25386.11	117744.44	-99041.67	377766.67	-2979663.89	421855.56	3401519.44
III	13	2IT220	-779113.89	156413.89	-1251083.33	-1027219.44	22808.33	127055.56	-113683.33	381897.22	-2901002.78	418077.78	3319080.56
	14	2IT221	-771927.78	119816.67	-1256327.78	-974269.44	23247.22	95208.33	-117991.67	386780.56	-2882908.33	387244.44	3270152.78
	15	2IT110	-673350.00	447613.89	-1151272.22	-889636.11	2102.78	464752.78	-163677.78	361886.11	-2266644.44	665063.89	2931708.33
	16	2IT111	-672738.89	201791.67	-1214727.78	-896450.00	14505.56	177533.33	-148941.67	369316.67	-2582125.00	412413.89	2994538.89
	17	2IT120	-656200.00	256891.67	-1196641.67	-866230.56	10813.89	242922.22	-154791.67	351827.78	-2462180.56	450772.22	2912952.78
	18	2IT121	-639069.44	147352.78	-1310422.22	-782719.44	15141.67	125105.56	-142875.00	294575.00	-2584858.33	291947.22	2876805.56
	19	2IT130	-594572.22	361986.11	-1260116.67	-756763.89	5961.11	316347.22	-191813.89	299094.44	-2249466.67	429588.89	2679055.56
	20	2IT131	-600152.78	142363.89	-1310972.22	-760033.33	13005.56	115891.67	-173636.11	308166.67	-2528794.44	263427.78	2792222.22
	21	2IT210	-664902.78	159102.78	-1223847.22	-885402.78	15950.00	134958.33	-153813.89	373036.11	-2615050.00	370130.56	2985180.56
	22	2IT211	-670627.78	102372.22	-1239252.78	-882744.44	18294.44	84352.78	-154711.11	367233.33	-2690252.78	315169.44	3005422.22
	23	2IT220	-632222.22	112208.33	-1321686.11	-779258.33	15866.67	94333.33	-145480.56	297344.44	-2620958.33	262063.89	2883022.22
	24	2IT221	-630458.33	88133.33	-1326102.78	-780341.67	17250.00	73261.11	-145200.00	303613.89	-2648769.44	248925.00	2897694.44
	25	2IT230	-575213.89	111941.67	-1309572.22	-731052.78	12533.33	91380.56	-178452.78	303861.11	-2503897.22	229322.22	2733219.44
	26	2IT231	-580508.33	74122.22	-1317911.11	-741725.00	14241.67	59266.67	-173494.44	304091.67	-2566022.22	204105.56	2770127.78

Tablo B.2 Devamı.

NO	KOD	YILLIK ISITMA YÜKLERİ kWh/YIL				YILLIK SOĞUTMA YÜKLERİ kWh/YIL				Yıllık Istima Yükü kWh/YIL	Yıllık Soğutma Yükü kWh/YIL	Toplam Enerji Yükü kWh/YIL
		A	B	C	D	A	B	C	D			
27	2C110	-667630.56	444838.89	-1148058.33	-882072.22	2241.67	465922.22	-164336.11	356672.22	-2252922.22	660500.00	2913422.22
28	2C111	-659766.67	293363.89	-1188980.56	-869041.67	9263.89	281455.56	-155025.00	358963.89	-2424425.00	494658.33	2919083.33
29	2C112	-650133.33	340552.78	-1174438.89	-862227.78	5780.56	338083.33	-165102.78	359447.22	-2346247.22	538208.33	2884455.56
30	2C1121	-632416.67	252972.22	-1274077.78	-760741.67	9608.33	242638.89	-144336.11	271241.67	-2414263.89	379152.78	2793416.67
31	2C1210	-669755.56	159444.44	-1225805.56	-891611.11	16158.33	135111.11	-152605.56	373244.44	-2627727.78	371908.33	2999636.11
32	2C1211	-640325.00	124136.11	-1313569.44	-780669.44	16325.00	104725.00	-142652.78	290263.89	-2610427.78	268661.11	2879088.89
33	2C1220	-616222.22	218711.11	-1298141.67	-764061.11	11811.11	183180.56	-173211.11	295422.22	-2459713.89	317202.78	2776916.67
34	2C1221	-611686.11	111616.67	-1325050.00	-771216.67	15283.33	94097.22	-150800.00	301408.33	-2596336.11	259988.89	2856325.00
35	2C1310	-555408.33	345547.22	-1248741.67	-712258.33	5872.22	307433.33	-201836.11	288861.11	-2170861.11	400330.56	2571191.67
36	2C1311	-651408.33	250963.89	-1207227.78	-872738.89	11500.00	209186.11	-188336.11	364855.56	-2480411.11	397205.56	2877616.67
37	2C1320	-520425.00	272583.33	-1254591.67	-764436.11	6666.67	242991.67	-209180.56	281305.56	-2176869.44	321783.33	2498652.78
38	2C1321	-616222.22	218711.11	-1298141.67	-764061.11	11811.11	183180.56	-173211.11	295422.22	-2459713.89	317202.78	2776916.67
39	2C110	-555019.44	384272.22	-1230050.00	-682383.33	2275.00	416941.67	-170483.33	260455.56	-2083180.56	509188.89	2592369.44
40	2C111	-555375.00	231975.00	-1272022.22	-695291.67	8963.89	229730.56	-161600.00	274752.78	-2290713.89	351847.22	2642561.11
41	2C120	-551833.33	256800.00	-1261880.56	-683866.67	5066.67	266616.67	-167036.11	277480.56	-2240780.56	382127.78	2622908.33
42	2C121	-538894.44	194427.78	-1279388.89	-678830.56	9886.11	189144.44	-168402.78	267247.22	-2302686.11	297875.00	2600561.11
43	2C130	-514541.67	311947.22	-1245833.33	-673808.33	6527.78	281122.22	-212241.67	275116.67	-2122236.11	350525.00	2472761.11
44	2C131	-519500.00	170705.56	-1278716.67	-663602.78	9627.78	148608.33	-199097.22	277147.22	-2291113.89	236286.11	2527400.00
45	2C210	-568394.44	130505.56	-1302636.11	-718963.89	12097.22	114808.33	-163372.22	292900.00	-2459488.89	256433.33	2715922.22
46	2C211	-551722.22	96083.33	-1302658.33	-69938.89	12516.67	83986.11	-170047.22	288805.56	-2458236.11	215261.11	2673497.22
47	2C220	-542900.00	107044.44	-1298172.22	-698305.56	11886.11	94111.11	-171733.33	289263.89	-2432333.33	223527.78	2653861.11
48	2C221	-527102.78	83519.44	-1294505.56	-674952.78	11838.89	73397.22	-178730.56	284019.44	-2413041.67	190525.00	2603566.67
49	2C230	-515222.22	98725.00	-1295111.11	-668983.33	10961.11	82736.11	-197416.67	289213.89	-2380591.67	185494.44	2566086.11
50	2C231	-500791.67	70038.89	-1295375.00	-635569.44	11266.67	58430.56	-200119.44	286150.00	-2379697.22	155727.78	2535425.00
51	2C310	-485936.11	298091.67	-1238580.56	-648391.67	5847.22	272894.44	-218038.33	259344.44	-2074816.67	320027.78	2394844.44
52	2C311	-544486.11	201686.11	-1284811.11	-710102.78	9716.67	173736.11	-190466.67	289111.11	-2347713.89	282097.22	2629811.11
53	2C320	-479408.33	224294.44	-1255558.33	-633819.44	7552.78	202811.11	-218430.56	262166.67	-2144491.67	254100.00	2398591.67
54	2C321	-531616.67	172197.22	-1277447.22	-682980.56	10219.44	149897.22	-194702.78	273736.11	-2319847.22	241150.00	2560997.22
55	2C330	-446675.00	261555.56	-1236033.33	-609980.56	5225.00	238127.78	-228475.00	246380.56	-2031133.33	261258.33	2292391.67
56	2C331	-502686.11	159775.00	-1277636.11	-649552.78	9594.44	139886.11	-203547.22	275352.78	-2270100.00	221286.11	2491386.11

Tablo B.3 Kabuk Seçeneklerinin Yıllık Enerji Tüketimleri.
I-II-III-IV-V: Bileşen düzenlenme biçimlerine bağlı olarak oluşturulan gruplar (Bakınız Tablo 7.4).

NO	KOD	Yıllık Isıtma Yükü kWh	Yıllık Soğutma Yükü kWh	Yıllık Isıtma Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık Soğutma Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık Isıtma ve Soğutma Enerjisi Tüketimi kWh	Enerjisi Tüketimi kWh/m ²
I	1 IÇ10	-2711063.89	824152.78	-3872948.41	1177361.11	5050309.52	129.89
	2 IÇ11	-2864563.89	551916.67	-4092234.13	788452.38	4880686.51	125.53
	3 IÇ20	-2952363.89	481913.89	-4217662.70	688448.41	4906111.11	126.19
	4 IÇ21	-2957469.44	414441.67	-4224956.35	592059.52	4817015.87	123.89
	5 IÇ30	-2504072.22	595672.22	-3577246.03	850960.32	4428206.35	113.89
	6 IÇ31	-2720244.44	401730.56	-3886063.49	573900.79	4459964.29	114.71
II	7 2T110	-2671227.78	819880.56	-3816039.68	1171257.94	4987297.62	128.27
	8 2T111	-2868811.11	531416.67	-4098301.59	759166.67	4857468.25	124.93
	9 2T120	-2741563.89	603000.00	-3916519.84	861428.57	4777948.41	122.89
	10 2T121	-2800711.11	461944.44	-4001015.87	659920.63	4660936.51	119.88
	11 2T210	-2871561.11	475638.89	-4102230.16	679484.13	4781714.29	122.99
	12 2T211	-2979663.89	421855.56	-4256662.70	602650.79	4859313.49	124.98
	13 2T220	-2901002.78	418077.78	-4144289.68	597253.97	4741543.65	121.95
	14 2T221	-2882908.33	387244.44	-4118440.48	553206.35	4671646.83	120.16
	15 2TÇ110	-2266644.44	665063.89	-3238063.49	950091.27	4188154.76	107.72
	16 2TÇ111	-2582125.00	412413.89	-3688750.00	589162.70	4277912.70	110.03
III	17 2TÇ120	-2462180.56	450772.22	-3517400.79	643960.32	4161361.11	107.03
	18 2TÇ121	-2584858.33	291947.22	-3692654.76	417067.46	4109722.22	105.70
	19 2TÇ130	-2249466.67	429588.89	-3213523.81	613698.41	3827222.22	98.44
	20 2TÇ131	-2528794.44	263427.78	-3612563.49	376325.40	3988888.89	102.59
	21 2TÇ210	-2615050.00	370130.56	-3735785.71	528757.94	4264543.65	109.68
	22 2TÇ211	-2690252.78	315169.44	-3843218.25	450242.06	4293460.32	110.43
	23 2TÇ220	-2620958.33	262063.89	-3744226.19	374376.98	4118603.17	105.93
	24 2TÇ221	-2648769.44	248925.00	-3783956.35	355607.14	4139563.49	106.47
	25 2TÇ230	-2503897.22	229322.22	-3576996.03	327603.17	3904599.21	100.43
	26 2TÇ231	-2566022.22	204105.56	-3665746.03	291579.37	3957325.40	101.78

Tablo B.3 Devamı.

NO	KOD	Yıllık Istma Yükü kWh	Yıllık Soğutma Yükü kWh	Yıllık Istma Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık Soğutma Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık Istma ve Soğutma Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık Istma ve Soğutma Enerjisi Tüketimi kWh/m2
27	2ÇT110	-2252922.22	660500.00	-3218460.32	943571.43	4162031.75	107.05
28	2ÇT111	-2424425.00	494658.33	-3463464.29	706654.76	4170119.05	107.26
29	2ÇT120	-2346247.22	538208.33	-3351781.75	768869.05	4120650.79	105.98
30	2ÇT121	-2414263.89	379152.78	-3448948.41	541646.83	3990595.24	102.64
31	2ÇT210	-2627727.78	371908.33	-3753896.83	531297.62	4285194.44	110.22
32	2ÇT211	-2610427.78	268661.11	-3729182.54	383801.59	4112984.13	105.79
33	2ÇT220	-2459713.89	317202.78	-3513876.98	453146.83	3967023.81	102.03
34	2ÇT221	-2596336.11	259988.89	-3709051.59	371412.70	4080464.29	104.95
35	2ÇT310	-2170861.11	400330.56	-3101230.16	571900.79	3673130.95	94.47
36	2ÇT311	-2480411.11	397205.56	-3543444.44	567436.51	4110880.95	105.73
37	2ÇT320	-2176869.44	321783.33	-3109813.49	459690.48	3569503.97	91.81
38	2ÇT321	-2459713.89	317202.78	-3513876.98	453146.83	3967023.81	102.03
39	2ÇÇ110	-2083180.56	509188.89	-2975972.22	727412.70	3703384.92	95.25
40	2ÇÇ111	-2290713.89	351847.22	-3272448.41	502638.89	3775087.30	97.10
41	2ÇÇ120	-2240780.56	382127.78	-3201115.08	545896.83	3747011.90	96.37
42	2ÇÇ121	-2302686.11	297875.00	-3289551.59	425535.71	3715087.30	95.55
43	2ÇÇ130	-2122236.11	350525.00	-3031765.87	500750.00	3532515.87	90.86
44	2ÇÇ131	-2291113.89	236286.11	-3273019.84	337551.59	3610571.43	92.86
45	2ÇÇ210	-2459488.89	256433.33	-3513555.56	366333.33	3879888.89	99.79
46	2ÇÇ211	-2458236.11	215261.11	-3511765.87	307515.87	3819281.75	98.23
47	2ÇÇ220	-2432333.33	223527.78	-3474761.90	319325.40	3794087.30	97.58
48	2ÇÇ221	-2413041.67	190525.00	-3447202.38	272178.57	3719380.95	95.66
49	2ÇÇ230	-2380591.67	185494.44	-3400845.24	264992.06	3665837.30	94.29
50	2ÇÇ231	-2379697.22	155727.78	-3399567.46	222468.25	3622035.71	93.16
51	2ÇÇ310	-2074816.67	320027.78	-2964023.81	457182.54	3421206.35	87.99
52	2ÇÇ311	-2347713.89	282097.22	-3353876.98	402996.03	3756873.02	96.63
53	2ÇÇ320	-2144491.67	254100.00	-3063559.52	363000.00	3426559.52	88.13
54	2ÇÇ321	-2319847.22	241150.00	-3314067.46	344500.00	3658567.46	94.10
55	2ÇÇ330	-2031133.33	261258.33	-2901619.05	373226.19	3274845.24	84.23
56	2ÇÇ331	-2270100.00	221286.11	-3243000.00	316123.02	3559123.02	91.54

Tablo B.4 Kabuk Seçeneklerinin Enerji Tüketimi Maliyetleri.
I-II-III-IV-V: Bileşen düzenlenme biçimlerine bağlı olarak oluşturulan gruplar (Bakınız Tablo 7.4).

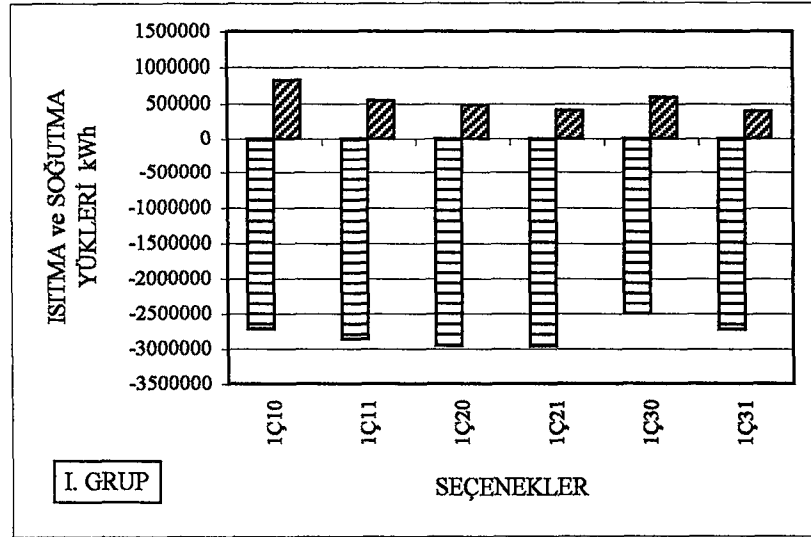
NO	KOD	Yıllık Isıtma Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık Isıtma Maliyeti TL (milyon) / kWh	Yıllık Soğutma Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık Soğutma Maliyeti TL (milyon) / kWh	Yıllık Enerji Tüketimi Maliyeti TL (milyon) / kWh	Yaşam Dönemi Enerji Tüketimi Maliyeti TL (milyon) / kWh
I	1 1Ç10	3872948.41	53022.64	1177361.11	50493.49	103516.12	679684.77
	2 1Ç11	4092234.13	56024.77	788452.38	33814.36	89839.13	589881.89
	3 1Ç20	4217662.70	57741.95	688448.41	29525.49	87267.44	572996.24
	4 1Ç21	4224956.35	57841.81	592059.52	25391.66	83233.46	546509.23
	5 1Ç30	3577246.03	48974.32	850960.32	36495.14	85469.46	561190.72
	6 1Ç31	3886063.49	53202.19	573900.79	24612.88	77815.07	510932.19
II	7 2T110	3816039.68	52243.53	1171257.94	50231.74	102475.27	672850.53
	8 2T111	4098301.59	56107.84	759166.67	32558.38	88666.22	582180.59
	9 2T120	3916519.84	53619.15	861428.57	36944.09	90563.24	594636.40
	10 2T121	4001015.87	54775.95	659920.63	28302.02	83077.96	545488.22
	11 2T120	4102230.16	56161.62	679484.13	29141.04	85302.66	560095.52
	12 2T121	4256662.70	58275.88	602650.79	25845.88	84121.77	552341.81
	13 2T1220	4144289.68	56737.44	597253.97	25614.43	82351.87	540720.70
	14 2T1221	4118440.48	56383.55	553206.35	23725.36	80108.91	525993.48
	15 2T1210	3238063.49	44330.74	950091.27	40746.56	85077.30	558615.85
	16 2T1211	3688750.00	50500.87	589162.70	25267.42	75768.29	497493.05
III	17 2T1220	3517400.79	48155.01	643960.32	27617.53	75772.54	497520.93
	18 2T121	3692654.76	50554.33	417067.46	17886.77	68441.10	449382.86
	19 2T1210	3213523.81	43994.78	613698.41	26319.68	70314.46	461683.34
	20 2T1211	3612563.49	49457.84	376325.40	16139.47	65597.30	430710.56
	21 2T1220	3735785.71	51144.81	528757.94	22676.84	73821.65	484711.47
	22 2T1221	3843218.25	52615.62	450242.06	19309.53	71925.15	472259.07
	23 2T1220	3744226.19	51260.37	374376.98	16055.91	67316.27	441997.27
	24 2T1221	3783956.35	51804.29	355607.14	15250.92	67055.22	440283.18
	25 2T1230	3576996.03	48970.90	327603.17	14049.92	63020.82	413793.40
	26 2T1231	3665746.03	50185.93	291579.37	12504.96	62690.90	411627.15

Tablo B.4 Devamı.

NO	KOD	Yıllık İstima Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık İstima Maliyeti TL (milyon) / kWh	Yıllık Soğutma Enerjisi Tüketimi kWh	Yıllık Soğutma Maliyeti TL (milyon) / kWh	Yıllık Enerji Tüketimi Maliyeti TL (milyon) / kWh	Yaşam Dönemi Enerji Tüketimi Maliyeti TL (milyon) / kWh
27	2ÇT110	3218460.32	44062.36	943571.43	40466.95	84529.31	555017.73
28	2ÇT111	3463464.29	47416.59	706654.76	30306.30	77722.90	510326.95
29	2ÇT120	3351781.75	45887.60	768869.05	32974.49	78862.09	517806.87
30	2ÇT121	3448948.41	47217.86	541646.83	23229.61	70447.47	462556.65
31	2ÇT1210	3753896.83	51392.76	531297.62	22785.76	74178.52	487054.67
32	2ÇT1211	3729182.54	51054.41	383801.59	16460.10	67514.51	443298.89
33	2ÇT220	3513876.98	48106.77	453146.83	19434.11	67540.88	443472.02
34	2ÇT221	3709051.59	50778.81	371412.70	15928.78	66707.58	438000.64
35	2ÇT310	3101230.16	42457.42	571900.79	24527.11	66984.53	439819.07
36	2ÇT311	3543444.44	48511.56	567436.51	24335.65	72847.21	478313.30
37	2ÇT320	3109813.49	42574.93	459690.48	19714.75	62289.68	408992.76
38	2ÇT321	3513876.98	48106.77	453146.83	19434.11	67540.88	443472.02
39	2ÇÇ110	2975972.22	40742.58	727412.70	31196.55	71939.13	472350.84
40	2ÇÇ111	3272448.41	44801.49	502638.89	21556.67	66358.16	435706.34
41	2ÇÇ120	3201115.08	43824.90	545896.83	23411.88	67236.78	441475.30
42	2ÇÇ121	3289551.59	45035.64	425535.71	18249.95	63285.59	415531.89
43	2ÇÇ130	3031765.87	41506.42	500750.00	21475.67	62982.09	413539.10
44	2ÇÇ131	3273019.84	44809.31	337551.59	14476.57	59285.89	389269.92
45	2ÇÇ210	3513555.56	48102.37	366333.33	15710.94	63813.31	418996.86
46	2ÇÇ211	3511765.87	48077.87	307515.87	13188.43	61266.30	402273.27
47	2ÇÇ220	3474761.90	47571.26	319325.40	13694.91	61266.17	402272.43
48	2ÇÇ221	3447202.38	47193.96	272178.57	11672.92	58866.88	386518.74
49	2ÇÇ230	3400845.24	46559.31	264992.06	11364.71	57924.02	380327.94
50	2ÇÇ231	3399567.46	46541.81	222468.25	9541.00	56082.81	368238.58
51	2ÇÇ310	2964023.81	40579.00	457182.54	19607.19	60186.19	395181.27
52	2ÇÇ311	3353876.98	45916.29	402996.03	17283.29	63199.58	414967.14
53	2ÇÇ320	3063559.52	41941.69	363000.00	15567.98	57509.67	377607.34
54	2ÇÇ321	3314067.46	45371.27	344500.00	14774.57	60145.85	394916.39
55	2ÇÇ330	2901619.05	39724.64	373226.19	16006.55	57351.20	365929.90
56	2ÇÇ331	3243000.00	44398.32	316123.02	13557.57	57955.89	380537.20

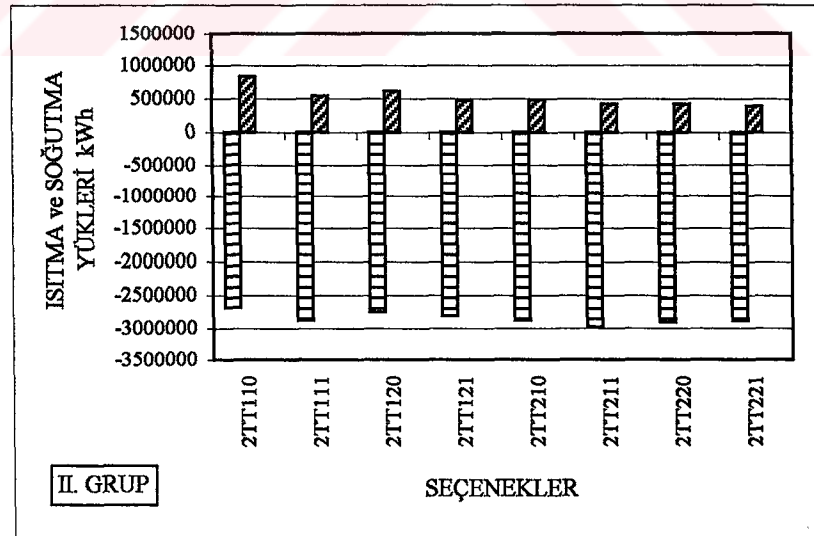
Tablo B.5 Seçeneklerin İlk Yatırım, Enerji ve Toplam Yaşam Dönemi Maliyetleri.

	NO	KOD	Yaşam Dönemi Enerji Tüketimi Maliyeti TL (milyon)	İlk Yatırım Maliyeti TL (milyon)	Yaşam Dönemi Maliyeti TL (milyon)
I	1	1Ç10	679684.77	1873094.98	2552779.74
	2	1Ç11	589881.89	2613541.78	3203423.67
	3	1Ç20	572996.24	1879168.13	2452164.36
	4	1Ç21	546509.23	2739874.13	3286383.36
	5	1Ç30	561190.72	1859185.97	2420376.69
	6	1Ç31	510932.19	2719891.97	3230824.16
II	7	2TT110	672850.53	3299951.04	3972801.57
	8	2TT111	582180.59	4160657.04	4742837.63
	9	2TT120	594636.40	3370218.86	3964855.26
	10	2TT121	545488.22	4230924.86	4776413.08
	11	2TT210	560095.52	3361701.55	3921797.07
	12	2TT211	552341.81	4222407.55	4774749.37
	13	2TT220	540720.70	3392891.52	3933612.22
	14	2TT221	525993.48	4253597.52	4779591.00
III	15	2TÇ110	558615.85	3646828.03	4205443.88
	16	2TÇ111	497493.05	4507534.03	5005027.08
	17	2TÇ120	497520.93	3790585.54	4288106.47
	18	2TÇ121	449382.86	4651291.54	5100674.40
	19	2TÇ130	461683.34	3767847.22	4229530.55
	20	2TÇ131	430710.56	4628553.22	5059263.78
	21	2TÇ210	484711.47	3708578.54	4193290.02
	22	2TÇ211	472259.07	4569284.54	5041543.61
	23	2TÇ220	441997.27	3852336.05	4294333.32
	24	2TÇ221	440283.18	4713042.05	5153325.23
	25	2TÇ230	413793.40	3829597.73	4243391.13
	26	2TÇ231	411627.15	4690303.73	5101930.88
IV	27	2ÇT110	555017.73	3594414.34	4149432.07
	28	2ÇT111	510326.95	4465488.34	4975815.28
	29	2ÇT120	517806.87	3675050.16	4192857.03
	30	2ÇT121	462556.65	4535756.16	4998312.81
	31	2ÇT210	487054.67	3731114.69	4081469.01
	32	2ÇT211	443298.89	4591820.69	4908787.23
	33	2ÇT220	443472.02	3801382.51	4118522.18
	34	2ÇT221	438000.64	4662088.51	4973756.80
	35	2ÇT310	439819.07	3760600.85	4170933.76
	36	2ÇT311	478313.30	4621306.85	5070133.99
	37	2ÇT320	408992.76	3760600.85	4210375.27
	38	2ÇT321	443472.02	4621306.85	5105560.53
V	39	2ÇÇ110	472350.84	3951659.33	4232951.68
	40	2ÇÇ111	435706.34	4812365.33	5057013.19
	41	2ÇÇ120	441475.30	4095416.83	4202076.14
	42	2ÇÇ121	415531.89	4956122.83	5036838.74
	43	2ÇÇ130	413539.10	4072678.51	4365198.42
	44	2ÇÇ131	389269.92	4933384.51	5201635.25
	45	2ÇÇ210	418996.86	4077991.68	4514413.69
	46	2ÇÇ211	402273.27	4938697.68	5358396.10
	47	2ÇÇ220	402272.43	4221749.18	4474950.94
	48	2ÇÇ221	386518.74	5082455.18	5319903.25
	49	2ÇÇ230	380327.94	4199010.86	4458319.62
	50	2ÇÇ231	368238.58	5059716.86	5306936.26
	51	2ÇÇ310	395181.27	4058009.52	4616930.45
	52	2ÇÇ311	414967.14	4918715.52	5497422.32
	53	2ÇÇ320	377607.34	4201767.02	4576618.21
	54	2ÇÇ321	394916.39	5062473.02	5454633.26
	55	2ÇÇ330	365929.90	4179028.70	4423939.42
	56	2ÇÇ331	380537.20	5039734.70	5299252.72



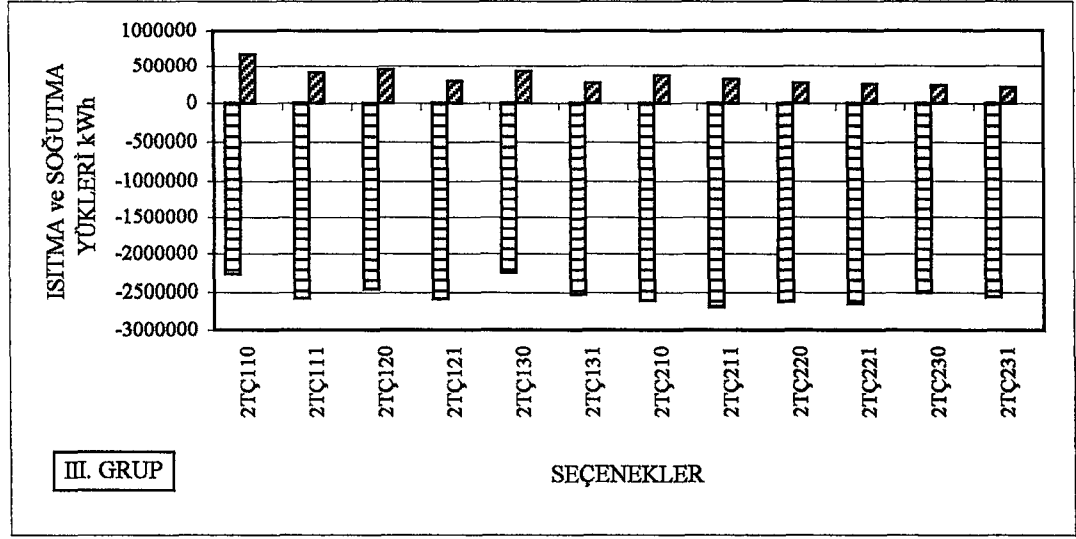
Şekil B.1a Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Isıtma ve Soğutma Yükleri.

Isıtma Yükleri Soğutma Yükleri



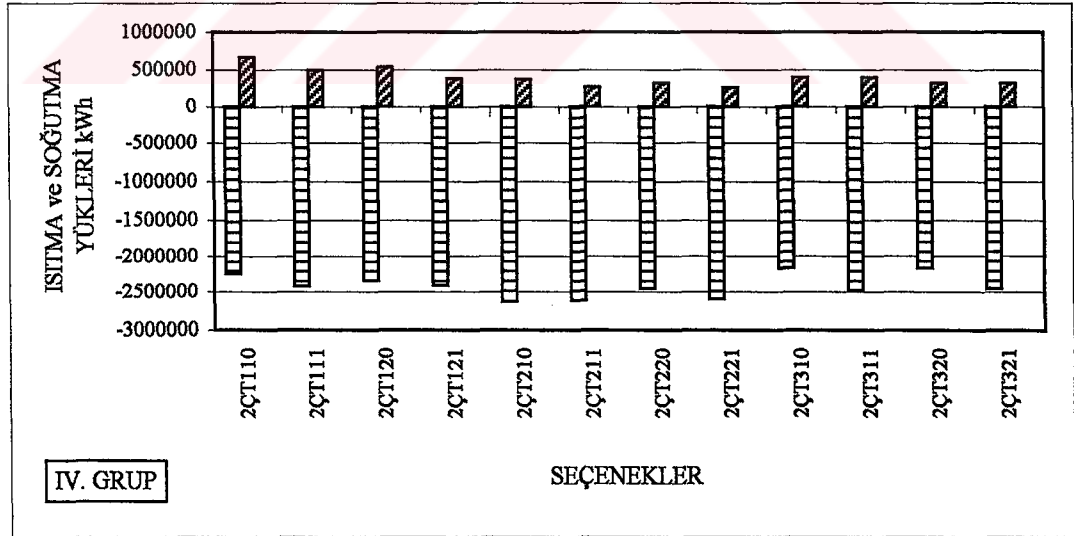
Şekil B.1b Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Isıtma ve Soğutma Yükleri.

Isıtma Yükleri Soğutma Yükleri



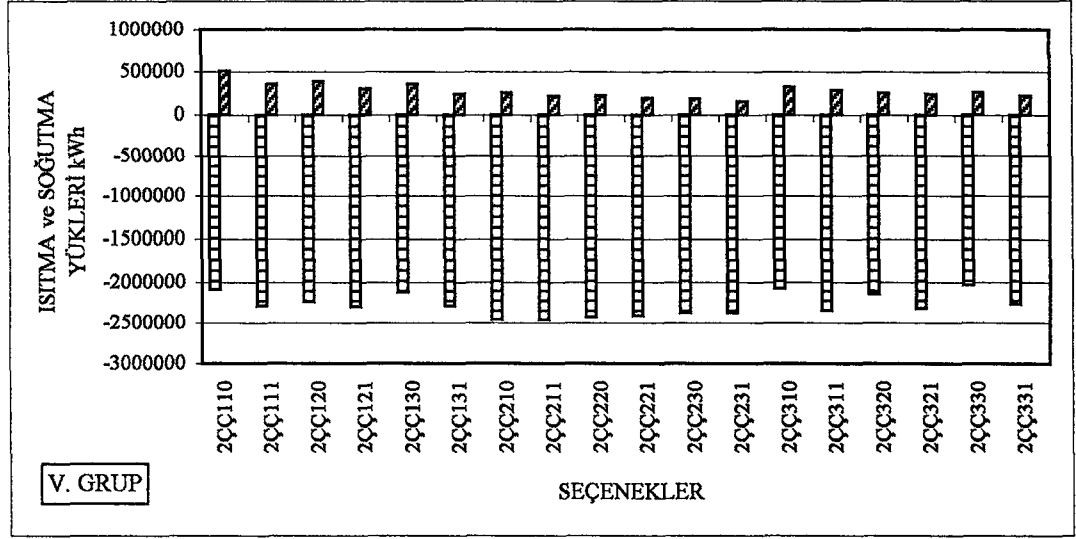
Şekil B.1c Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Isıtma ve Soğutma Yükleri.

Isıtma Yükleri Soğutma Yükleri



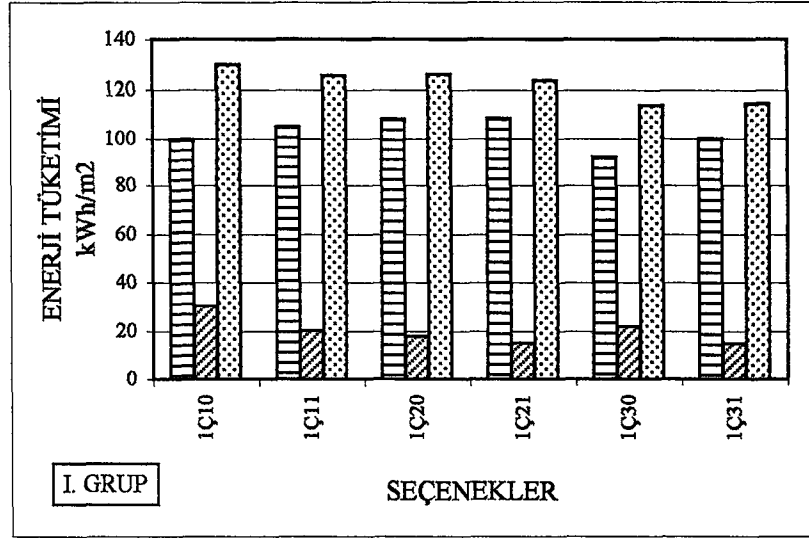
Şekil B.1d Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Isıtma ve Soğutma Yükleri.

Isıtma Yükleri Soğutma Yükleri



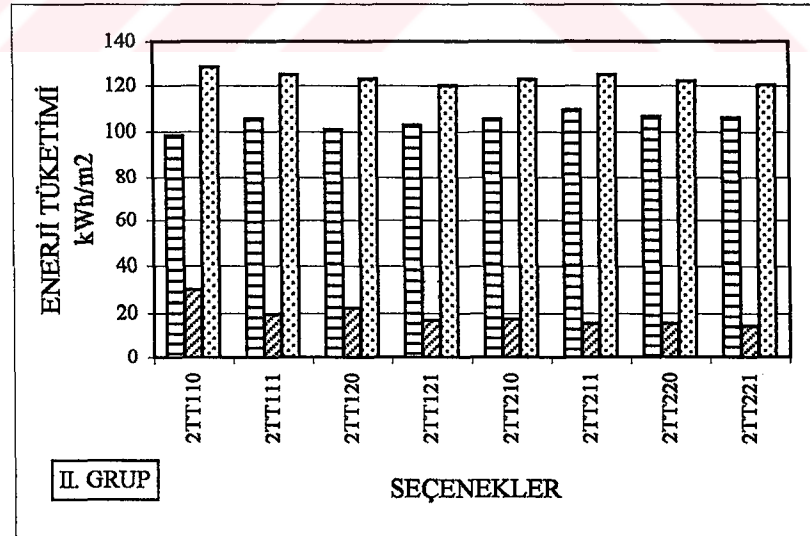
Şekil B.1e Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Isıtma ve Soğutma Yükleri.

Isıtma Yükleri Soğutma Yükleri



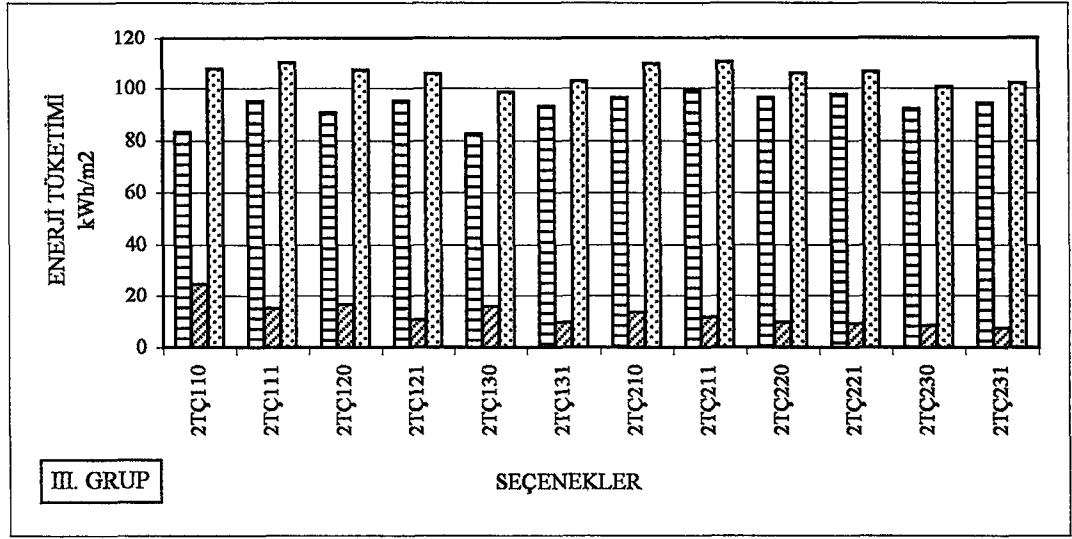
Şekil B.2a Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Yıllık Enerji Tüketimleri.

Isıtma Enerjisi Tüketimi Soğutma Enerjisi Tüketimi
Toplam Enerji Tüketimi



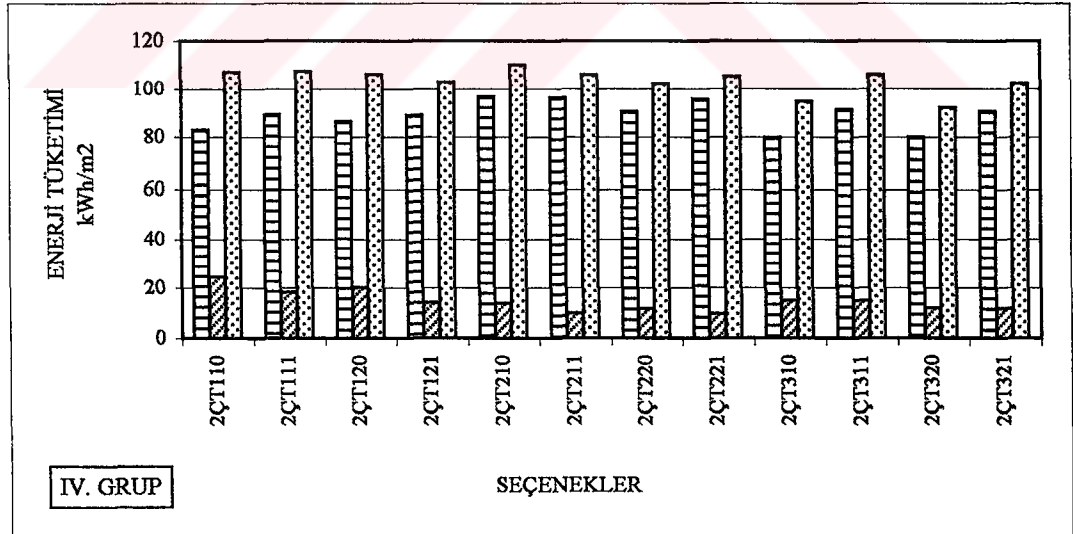
Şekil B.2b Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Yıllık Enerji Tüketimleri.

Isıtma Enerjisi Tüketimi Soğutma Enerjisi Tüketimi
Toplam Enerji Tüketimi



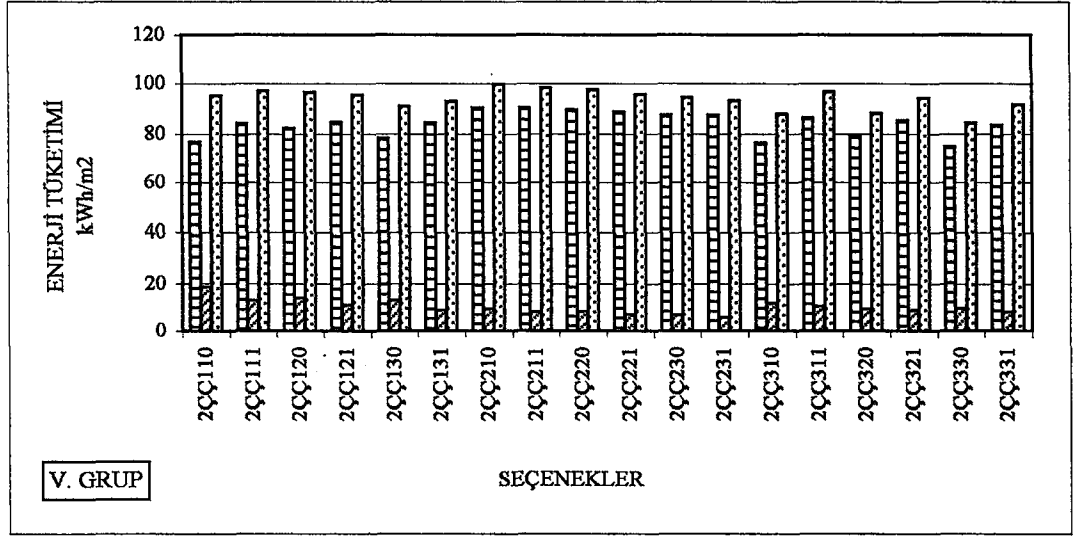
Şekil B.2c Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Yıllık Enerji Tüketimleri.

Isıtma Enerjisi Tüketimi Soğutma Enerjisi Tüketimi Toplam Enerji Tüketimi



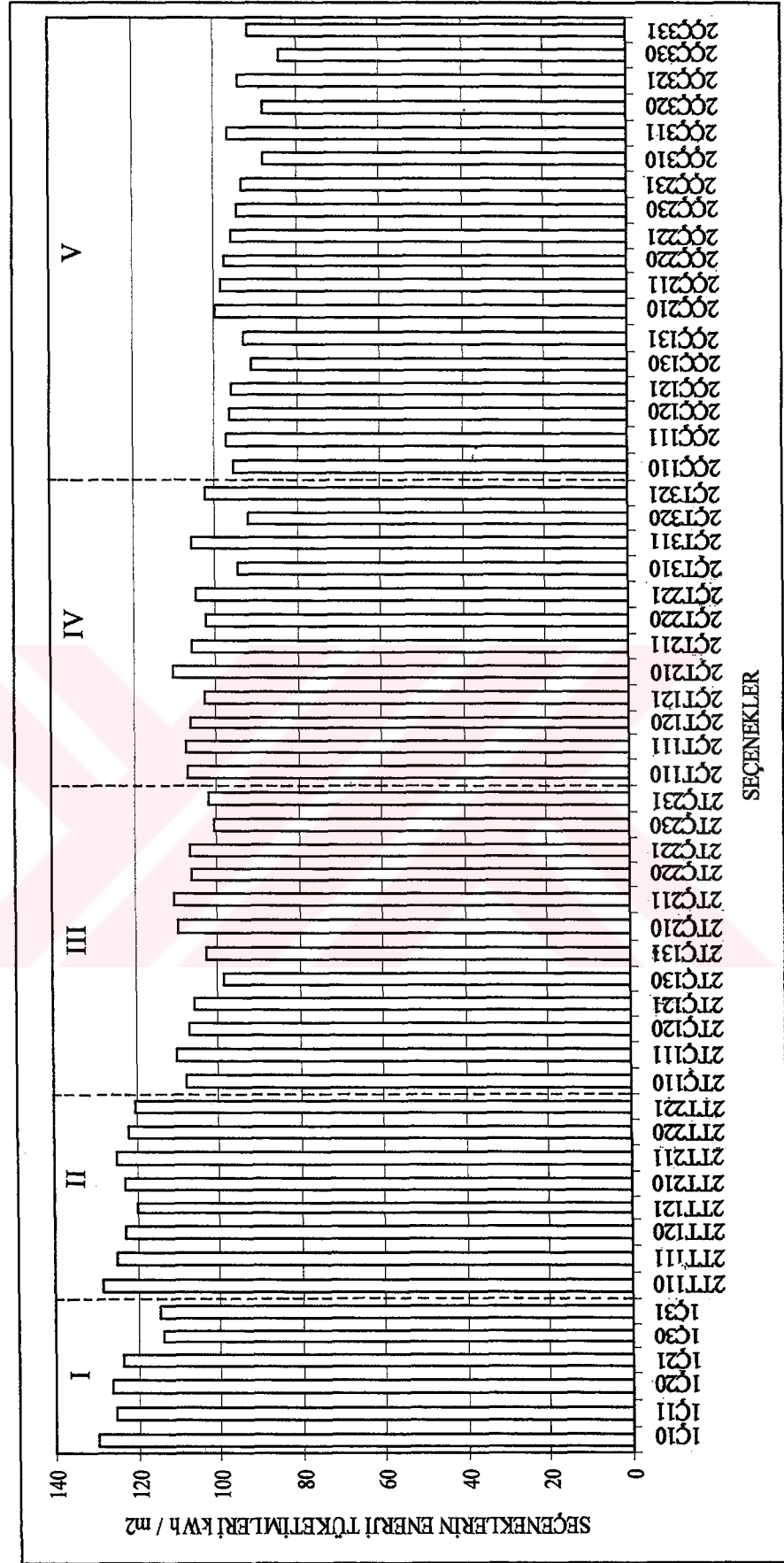
Şekil B.2d Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Yıllık Enerji Tüketimleri.

Isıtma Enerjisi Tüketimi Soğutma Enerjisi Tüketimi Toplam Enerji Tüketimi

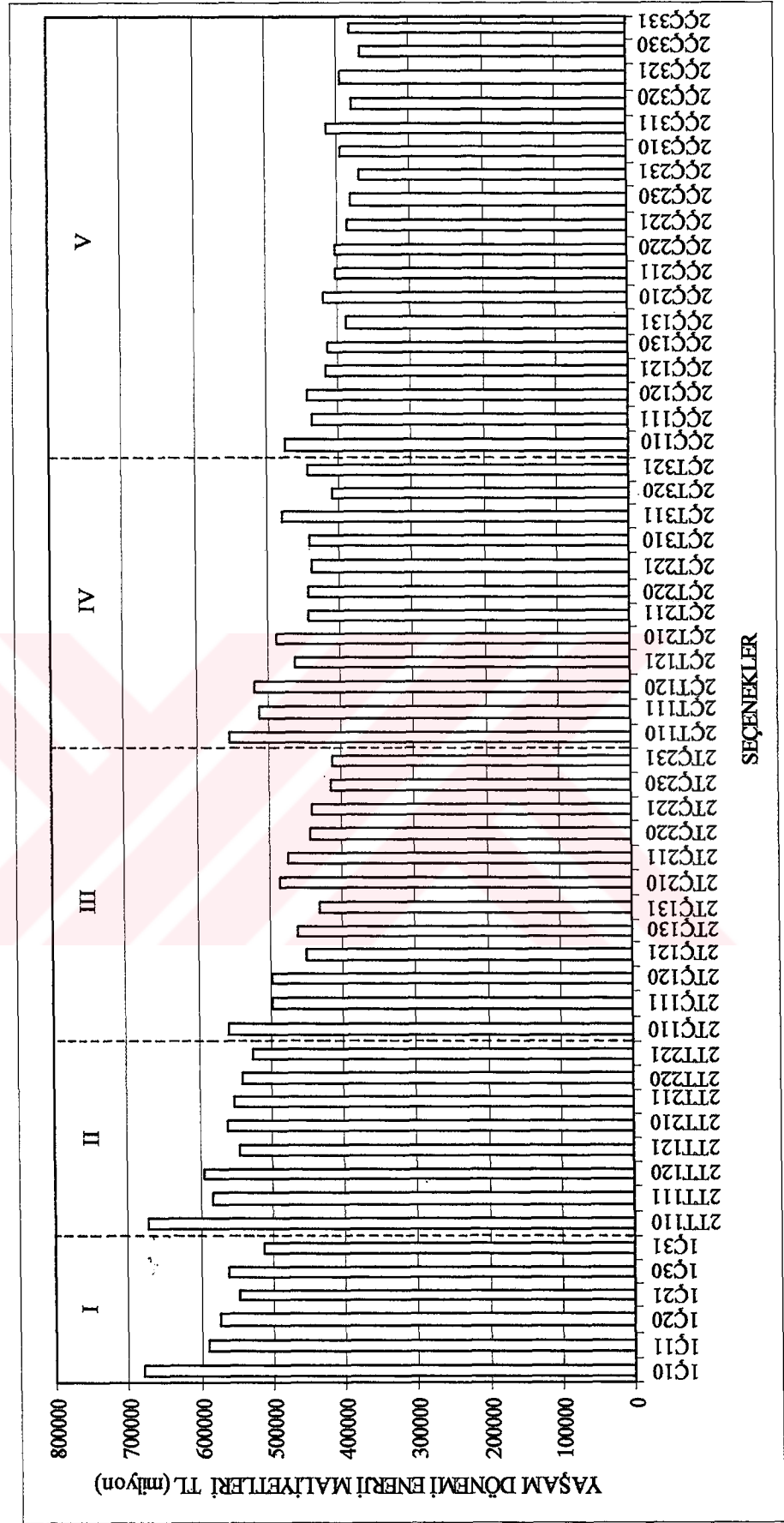


Şekil B.2e Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Yıllık Enerji Tüketimleri.

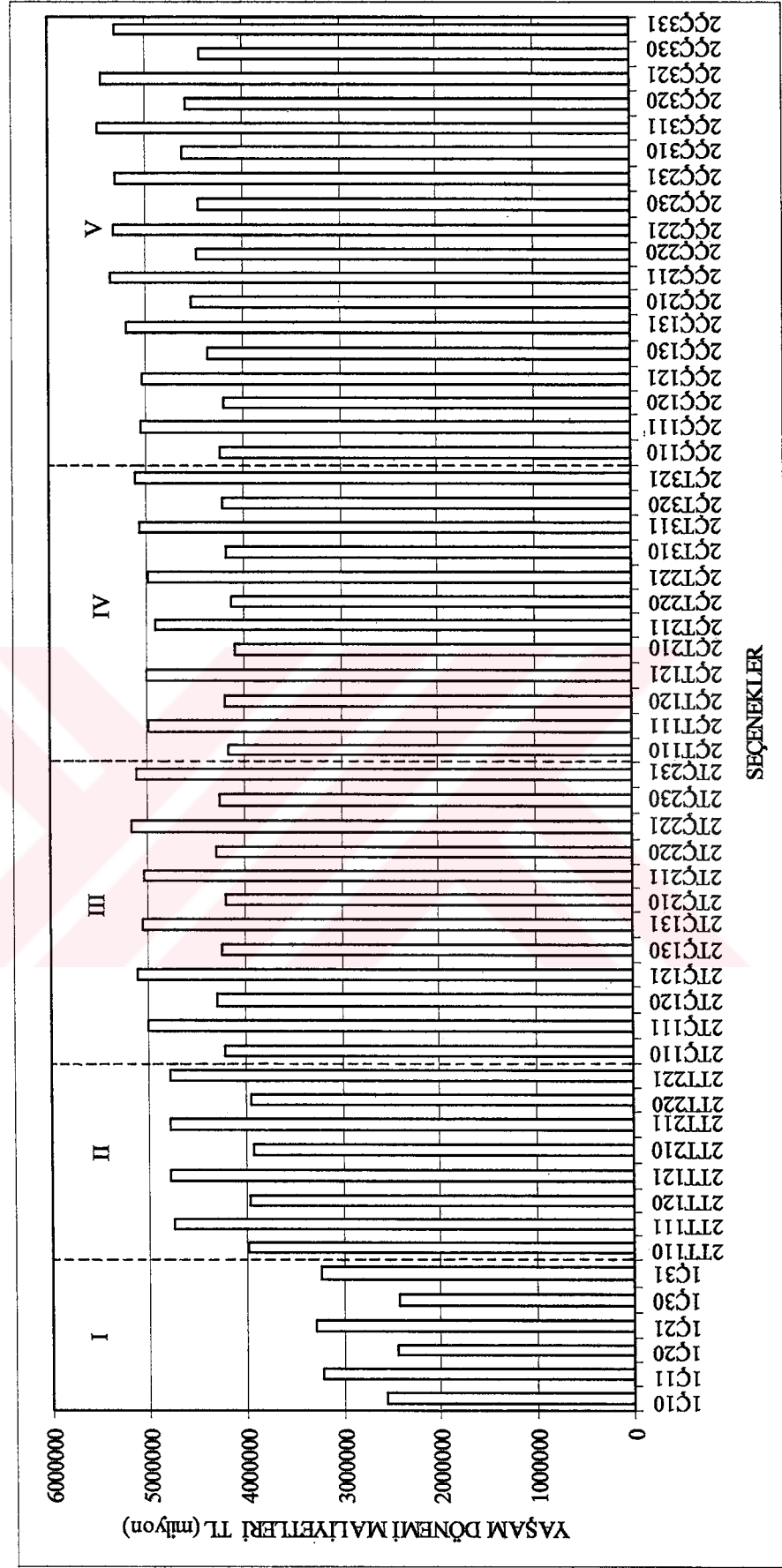
Isıtma Enerjisi Tüketimi Soğutma Enerjisi Tüketimi
Toplam Enerji Tüketimi



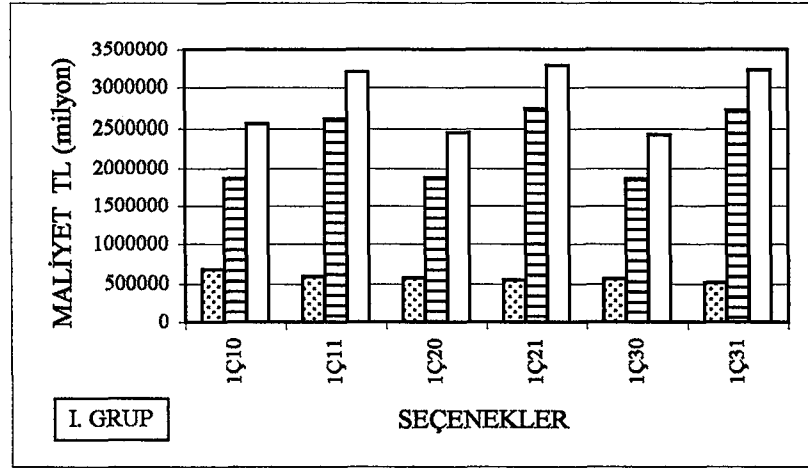
Şekil B.3 Seçeneklerin Yıllık Enerji Tüketimleri.



Şekil B.4 Seçeneklerin Yaşam Dönemi Enerji Maliyetleri.

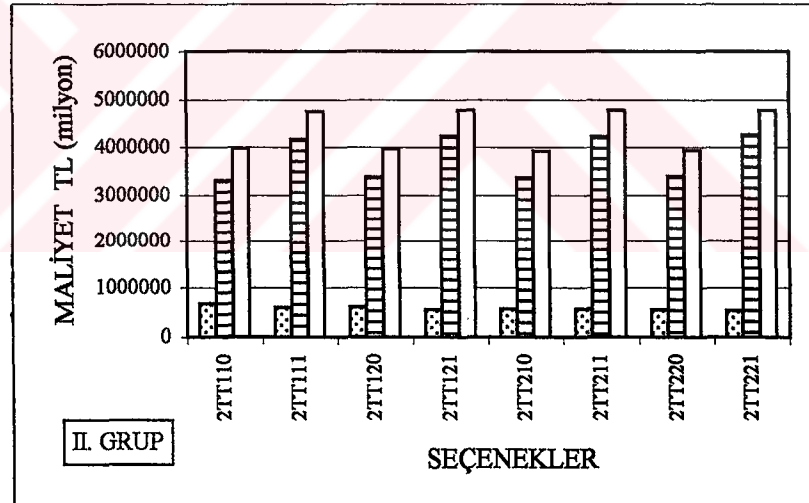


Şekil B.6 Seçeneklerin Yaşam Dönemi Maliyetleri.



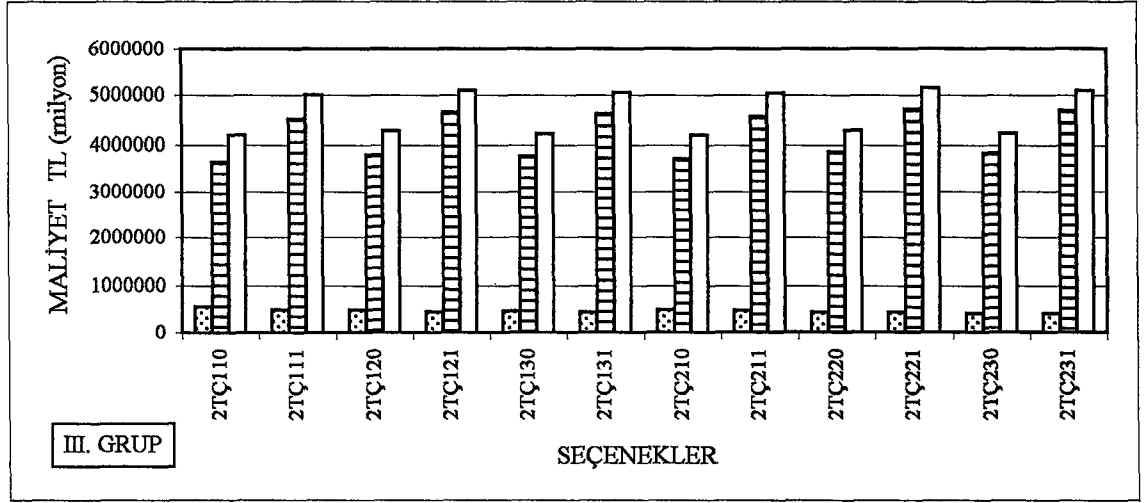
Şekil B.7a Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Enerji - İlk Yatırım - Yaşam Dönemi Maliyetleri

Yaşam Dönemi Enerji Maliyetleri
 İlk Yatırım Maliyetleri
 Toplam Yaşam Dönemi Maliyetleri



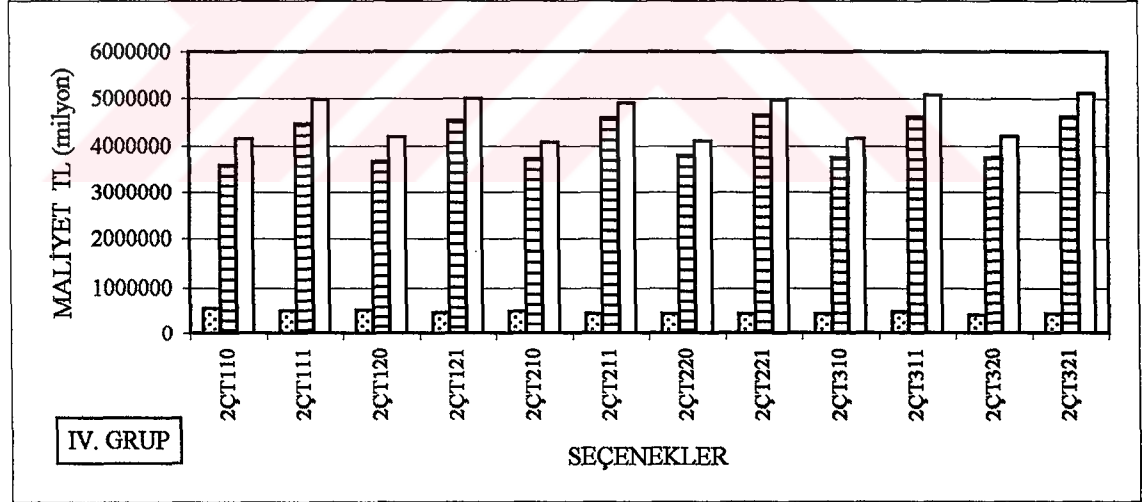
Şekil B.7b Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Enerji - İlk Yatırım - Yaşam Dönemi Maliyetleri

Yaşam Dönemi Enerji Maliyetleri
 İlk Yatırım Maliyetleri
 Toplam Yaşam Dönemi Maliyetleri



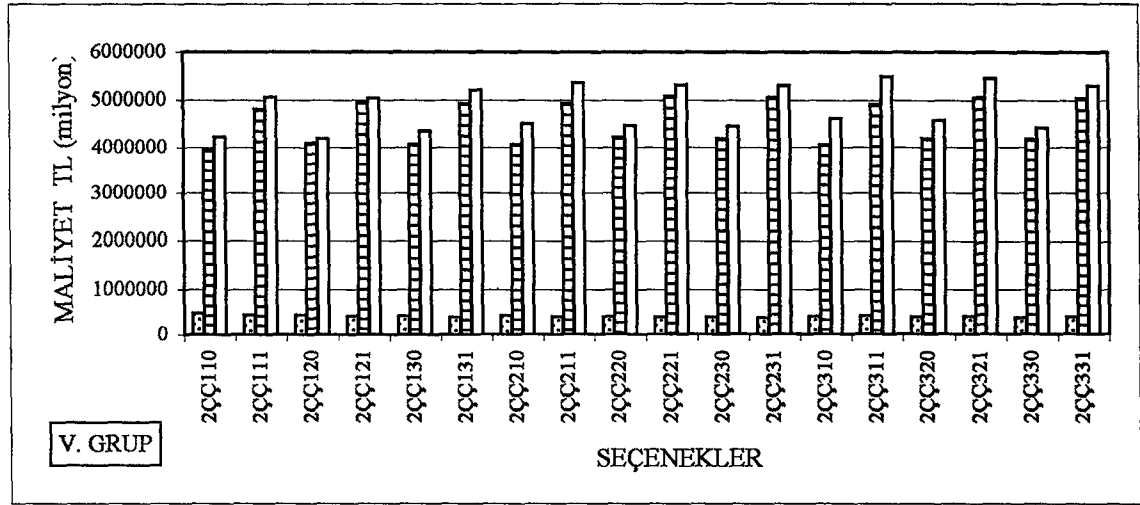
Şekil B.7c Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Enerji - İlk Yatırım - Yaşam Dönemi Maliyetleri

Yaşam Dönemi Enerji Maliyetleri
 İlk Yatırım Maliyetleri
 Toplam Yaşam Dönemi Maliyetleri



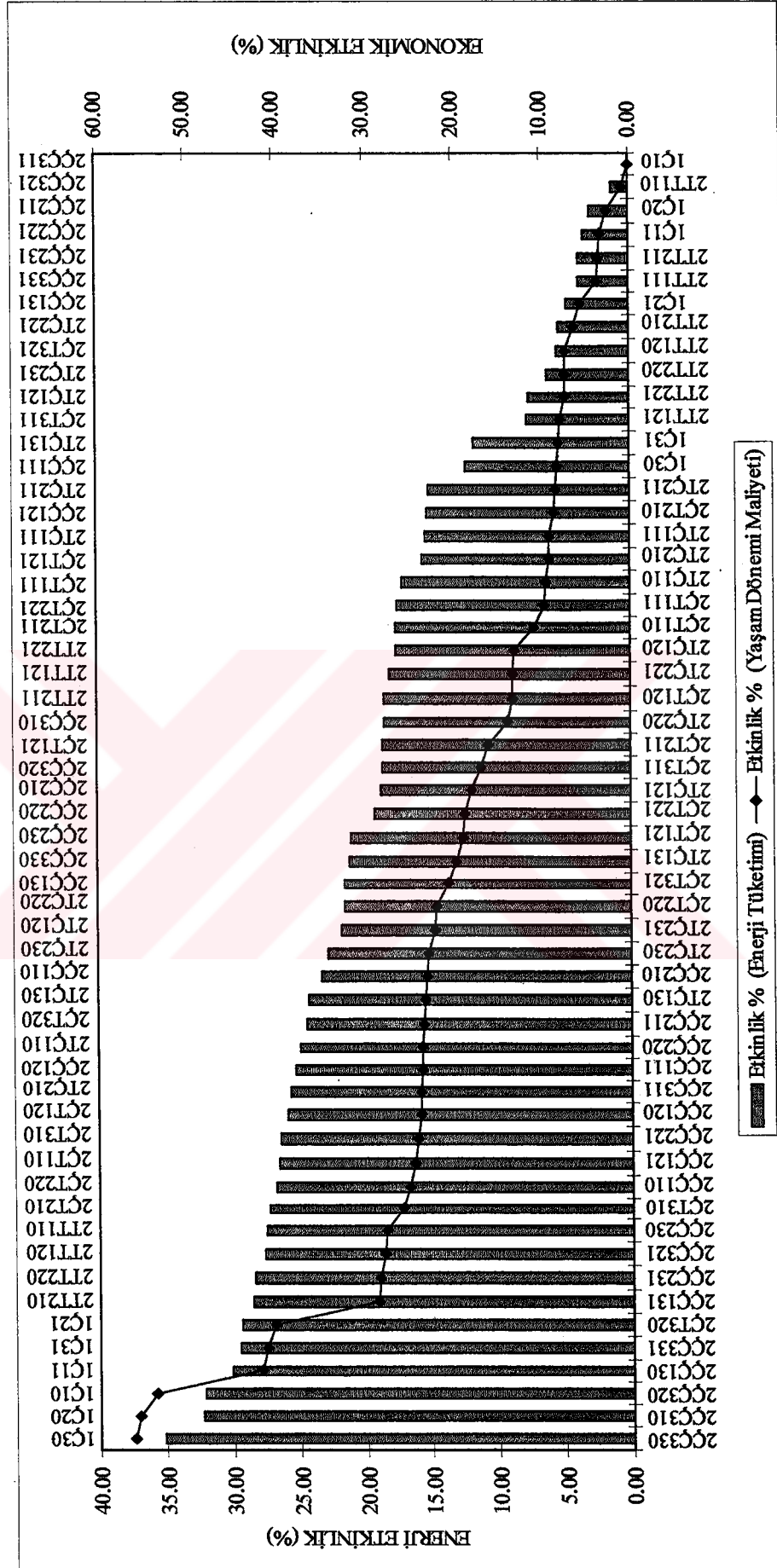
Şekil B.7d Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Enerji - İlk Yatırım - Yaşam Dönemi Maliyetleri

Yaşam Dönemi Enerji Maliyetleri
 İlk Yatırım Maliyetleri
 Toplam Yaşam Dönemi Maliyetleri



Şekil B.7e Bileşenlerin Konumuna Bağlı Olarak Oluşturulan Gruplardaki Seçeneklerin Enerji - İlk Yatırım - Yaşam Dönemi Maliyetleri

-  Yaşam Dönemi Enerji Maliyetleri
-  İlk Yatırım Maliyetleri
-  Toplam Yaşam Dönemi Maliyetleri



Şekil B.8 Seçeneklerin Enerji ve Ekonomik Etkinlikleri (%).

ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında İstanbul'da doğan İkbâl Çetiner, ilk ve orta öğrenimini Kandilli Kız Lisesi'nde tamamladı. 1985 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nden 1989 yılında mezun oldu. Aynı yıl girdiği yüksek lisans eğitimini 1992'de tamamladıktan sonra, özel bir büroda mimarlık ve şehircilik projesi tasarımlarında çalıştı. 1993 yılında İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak atandığı günden bu yana, eğitim ve araştırma alanındaki çalışmalarına devam etmektedir.



**İ.T.Ü. YÜKSEK LİSANS
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**