TÜRKİYE DERECE GÜN BÖLGELERİNDE ISITMA GEREKTİREN DÖNEM İÇİN ALÇAK KATLI KONUT BİNALARINDA UYGUN CAM TİPLERİNİN SAPTANMASINA YÖNELİK BİR YÖNTEM

İDİL AYÇAM

DOKTORA TEZİ
MİMARLIK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİSAN 2006
ANKARA

İdil AYÇAM tarafından hazırlanan TÜRKİYE DERECEGÜN BÖLGELERİNDE ISITMA GEREKTİREN DÖNEM İÇİN ALÇAK KATLI KONUT BİNALARINDA UYGUN CAM TİPLERİNİN SAPTANMASINA YÖNELİK BİR YÖNTEM adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Gönül UTKUTUĞ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Mimarlık Anabilim Dalında, Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İbrahim GÜNAL

Üye : Prof. Dr. Gönül UTKUTUĞ

Üye : Prof. Dr. Tanju GÜLTEKİN

Üye : Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ

Üye : Prof. Dr. Ziya UTKUTUĞ

Tarih :11/Nisan/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İdil AYÇAM

TÜRKİYE İKLİM KOŞULLARINA GÖRE KONUT BİNALARI İÇİN UYGUN CAM TİPLERİNİN SAPTANMASINA YÖNELİK ENERJİ DERECELENDİRME SİSTEMİ

(Doktora Tezi)

İdil AYÇAM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2006

ÖZET

Yapılan çalışmada Türkiye'de derece gün bölgelerine göre, alçak katlı konut binalarında, ısıtma gerektiren dönemde uygun cam tiplerinin seçilmesi ve pencere derecelendirme (rating) sisteminin geliştirilmesine baz oluşturulması hedeflenmektedir. Bu amaçla pencerelerin enerji performanslarının etüdüne yönelik hesaplama yöntemleri, ilgili standardlar, derecelendirme sistemleri incelenmiştir.

Analizler sonucunda performans göstergeleri saptanmış, buna bağlı olarak incelenecek cam tipleri belirlenmiştir. Modelin çerçevesi çizilmiş, sınırlar, kabuller detaylandırılmıştır. Çalışmada seçilen referans binada, cam tiplerinin ısıtma gerektiren dönem için enerji tüketimini etkileyen faktörler saptanmış, net enerji dengesi denklemi oluşturulmuş, 4 derece gün bölgesi için Q_{net} değerlerini etkileyen A ve B katsayıları elde edilmiştir.

Referans binada farklı cam tiplerinin performansları hazırlanan excel formulasyonu yardımı ile hesaplanmıştır. Sonuçlardan elde edilen grafikler değerlendirilerek her derece gün bölgesinde ısıtma gerektiren dönem için uygun cam tipleri önerilmiştir.

Bilim Kodu : **804.1.144**
Anahtar Kelimeler : **Pencere, cam, konut binaları, enerji performansı, enerji derecelendirme sistemi, ısıtma gerektiren dönem**
Sayfa Adedi : **149**
Tez Yöneticisi : **Prof. Dr. Gönül UTKUTUĞ**

ENERGY RATING SYSTEM REGARDING TURKISH CLIMATIC CONDITIONS TO DETERMINE APROPPRIATE GLASS TYPES FOR LOW RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

(Ph.D. Thesis)

İdil AYÇAM

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
April 2006

ABSTRACT

The aim of the study is choosing appropriate glass types for the heating period and structuring a glass rating system according to Turkish degree day regions for low rise residential buildings. Therefore, calculation methods due to energy performances, related standards and rating systems for windows are all reviewed.

Performance indicators are determined and the window types are chosen for further research. The framework, boundary conditions and assumptions of the model are elaborated. The factors that effect energy consumption of varying glass types are determined for the heating period, net energy balance formula is structured and finally A and B coefficients of Q_{net} values for 4 degree day regions are obtained for referance building.

Performances of varying glass types are calculated with the help of Excel formulations that are prepared for the example model. The graphics are assessed and appropriate glass types are proposed for each degree day region for the heating period.

Science Code : 804.1.144
Key Words : Windows, glazing, residential buildings, energy performance, energy rating system, heating period
Page Number : 149
Adviser : Prof. Dr. Gönül UTKUTUĞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam "Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Öğretim Üyesi", Prof. Dr. Gönül UTKUTUĞ 'a teşekkürü borç bilirim. Çalışmalarımı yürütebilmem için beni destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen hocam "Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü Öğretim Üyesi", Prof. Dr. Ziya UTKUTUĞ'a, tüm çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkür ederim. Tez çalışmamda hesaplamalarda gerekli olan Türkiye iklim verilerini bana sağlayan METEOTEST Meteonorm firmasına teşekkür ederim. Son olarak Makine Mühendisi Sertaç CURDANELİ 'ye ve Mimar İbrahim DİKİLİTAŞ'a zor olan her anımda var oldukları için minnettarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiv

RESİMLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xvii

1.GİRİŞ 1

2.ALAN TARAMASI 9

3. PENCERELERİN ENERJİ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK DERECELENDİRME VE ETİKETLEME ÇALIŞMALARI 15

3.1. Pencerelerin enerji derecelendirme sistemlerinin belirlenmesine yönelik yaklaşımlar 18

3.2. Dünyada Pencere Enerji Derecelendirme Sistemlerine Bakış 20

3.2.1. Amerika NFRC pencere derecelendirme sistemi 22

3.2.2. Kanada enerji derecelendirme sistemi (ER) 23

3.2.3. Avustralya pencere enerji derecelendirme sistemi (WERS) 24

3.2.4. Avrupa pencere enerji derecelendirme sistemi (EWERS) 27

3.3. Pencerelerin Enerji Derecelendirme Sistemlerinin Belirtilmesine Yönelik Etiketleme Sistemleri 29

Sayfa

3.3.1. Ürünün standardlara uygunluğunu onaylayan etiketleme 29

3.3.2. Ürünün performansının karşılaştırılmasına yönelik etiketleme 30

3.3.3. Ürün performans özelliklerine yönelik bilgilendirici etiketleme 31

4. PENCERELERİN ENERJİ PERFORMANSININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK PERFORMANS KRİTERLERİ, İLGİLİ STANDARDLAR VE YAZILIM PROGRAMLARI 33

4.1. Pencerelerin Enerji Performansının Belirlenmesine Yönelik Performans Kriterleri 33

4.2. Avrupa Birliği Ülkelerinde Mevcut Standardlar 35

4.3. Türkiye'deki Mevcut Durum 42

4.4. Pencerelerin Enerji Performanslarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Bilgisayar Programları 43

4.4.1. WIS yazılımı 46

5. KONUT BİNALARINDA PENCERELERİN ENERJİ DERECELENDİRİLMESİNDE KULLANILAN HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE TÜRKİYE İÇİN UYGUN YÖNTEMİN BELİRLENMESİ 54

5.1. Kanada Hesaplama Metodu 54

5.1.1. Hava sızıntısının performansa etkisi 56

5.1.2. Soğutma dönemi ER derecelendirme değeri 57

5.2. Danimarka Doğrusal Hesaplama Metodu 58

5.2.1. Danimarka doğrusal hesaplama yönteminde güneşten ısı kazancının hesaplanması 59

5.2.2. Net enerji kazancının hesaplanması 62

Sayfa

5.2.3. Net enerji kazancının dinamik hesaplama yöntemiyle karşılaştırılması ve derecelendirme sisteminin geliştirilmesi 64

5.3. İsveç Denge Noktası Sıcaklığına Dayalı Hesaplama Metodu..... 66

5.3.1. Camın açıya bağlı g değerinin hesaplanması 67

5.3.2 Denge noktası sıcaklığına dayalı enerji denge denklemi 68

5.4. Avrupa EWERS ve İngiltere Hesaplama Metodu..... 72

5.5. Türkiye için Pencerelerin Enerji Performanslarının Hesaplanmasında Kullanılacak Yöntem 76

6. ALAN ÇALIŞMASI 80

6.1. Çalışmanın Amacı 80

6.2. Alan Çalışmasındaki Kabuller ve Sınırlar 80

6.3. Alan Çalışması Kapsamında Pencerenin Isıl Performansını Etkileyen Parametreler..... 81

6.3.1. Binaya ait parametreler 81

6.3.2. Dış iklimsel etmenler..... 83

6.3.3. Alan çalışmasında kullanılan pencere tipleri 86

6.4. Alan Çalışmasında Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi 89

7. SONUÇ VE ÖNERİLER……....97

KAYNAKLAR 101

EKLER 106

EK-1 Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri 107

EK-2 TS 2164 Tablo 6-A ve 6-B 122

EK-3 TS 825 (2000) Binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı 125

EK-4 Örnek Hesaplama: Cam 01'in Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar..... 135

Sayfa

EK-5 Türkiye Derece Gün Bölgelerine göre incelenen cam tiplerine ait performans tablosu (Q_{net}= Kwh/M2yıl)..... 145
EK-6 Alan çalışmasında incelenen cam tiplerinin Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (Mj/M^2-Yıl)..... 146

ÖZGEÇMİŞ..... 148

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Camlı yüzeylerin ısıl performans göstergelerine ait Avrupa'daki standartlar 37

Çizelge 4.2. AB ülkeleri yeni binalar için pencerelerin ısıl performansına ait bina yönetmelikleri 39

Çizelge 4.3. AB ülkeleri mevcut binalar için pencerelerin ısıl performanslarına ait bina yönetmelikleri 41

Çizelge 4.4. Bayındırlık Bakanlığı Isı Yalıtım Yönetmeliğine göre TS 825 ve TS 2164 standartlarında belirtilen Türkiye Derece Gün Bölgelerinde pencerelerin sağlaması gereken U değerleri 42

Çizelge 4.5. Pencerelerin ısıl performansının analizinde kullanılan bilgisayar programları 44

Çizelge 4.6. Programlar kullanılarak incelenen cam tiplerine ait özellikler 45

Çizelge 4.7. İlgili programlar kullanılarak camların merkezine ait U değerlerinin karşılaştırılması 45

Çizelge 6.1. Türkiye Derece Gün Bölgeleri için aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları 84

Çizelge 6.2. Türkiye Derece Gün Bölgeleri için ısıtma gerektiren dönem ortalama dış ortam sıcaklıkları 84

Çizelge 6.3. Yönden bağımsız dik düzleme gelen güneş ışınımı değerleri (MJ/m^2-Ay) 85

Çizelge 6.4. Isıtma sezonu toplam güneş ışınımı değerleri (MJ/m^2-Yıl) (kWh/m^2-Yıl) 85

Çizelge 6.5. Isıtma sezonu uzunluğu 85

Çizelge 6.6. Alan çalışmasında incelenen cam tiplerine ait tanımlayıcı bilgiler 88

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.7. Türkiye Derece Gün Bölgelerine göre incelenen cam tiplerine ait performans tablosu 92

Çizelge 6.8. Avrupa'nın farklı kentlerine ait iklim verileri,çift cam için, η_g ,A, B katsayıları 92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Doktora tezinin akış şeması 8

Şekil.3.1. Avustralya pencere enerji derecelendirme sisteminin şematik kurgusu 26

Şekil 3.2. Ürünün standardlara uygunluğunu onaylayan etiketleme..... 29

Şekil 3.3. Ürün performans özelliklerine yönelik etiketleme..... 30

Şekil 3.4. Yeni Zelanda kış -yaz koşulları için derecelendirme sistemi ürün performans özelliklerine yönelik etiketleme 30

Şekil 3.5. NFRC etiketleme sistemi 31

Şekil 3.6. Avustralya için derecelendirme sistemi..... 32

Şekil 3.7. Danimarka pencereler için etiketleme sistemi 32

Şekil 4.1. Avrupa'da pencerelerin ısıl performanslarının etüdünde kullanılan hesaplama ve test yöntemlerine ait standardlar 38

Şekil 4.2. WIS çevre koşulları 48

Şekil 4.3. WIS cam tabakası bölümü..... 50

Şekil 4.4. WIS gaz karışımı bölümü 50

Şekil 4.5. WIS cam sistemi bölümü 51

Şekil 4.6. WIS pencere bölümü 53

Şekil 5.1. Camların farklı geliş açılarına göre değişen toplam güneş enerjisi geçirgenliği 61

Şekil 5.2. Danimarka iklimi için ısıtma gerektiren dönemde camların güney yönünde g ve U değerlerine bağlı net enerji kazanç diyagramı..... 64

Şekil 5.3. Pencerelerin enerji performansının hesaplanmasında Karlsson modelinin akış şeması 71

Şekil 6.1. Cam 01-Cam 19'un Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (MJ/m^2yıl) 90

Şekil 6.2. Cam 20-Cam 38'in Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (MJ/m^2yıl) 90

Şekil 6.3. Cam 01-Cam 19'un Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (KWh/m^2yıl) 91

Şekil 6.4. Cam 20-Cam 38'in Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (KWh/m^2yıl) 91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A_{cam}	Cam (şeffaf yüzey) yüzeyinin alanı, m^2
$A_{cam\ kenarı}$	Camın kenarının alanı, m^2
$A_{cam\ merkezi}$	Camın merkezinin alanı, m^2
$A_{çerçeve}$	Çerçevenin (opak yüzey) alanı, m^2
A_{toplam}	Toplam pencere alanı, m^2
A_w	Camlı yüzeyin alanı, m^2
C	C sabiti
c_ρ	Boşluğu dolduran gazın özgül ısısı, J/ kg K
d	Cam tabakasının kalınlığı, m
D_x	Serinlik indeksi
E	Emissivite (ışıma, ışınım yayma derecesi)
E_λ	Yüzeyin gelen ışınımın dalga boyuna bağlı olarak değişim gösteren emissivite değeri
F	Güneş ışınımı için düzeltme faktörü
F_s	Isıtma gerektiren dönemde yönlerin ortalama güneş ışınımı şiddeti, W/m^2
$g_{i,ay}$	Şeffaf bileşenin aylık ortalama güneş enerjisi geçirme faktörü
$g_\perp$	Cama dik ışınım için camın güneş ışınımı enerji geçirgenliği
H	Binanın özgül ısı kaybı, W/K
I_D	Direkt güneş ışınımı miktarı $kcal/m^2h$, W/m^2
I_g	Cam tabakanın çevresi, m
$I_{i,ay}$	Dik yüzeye gelen aylık ortalama güneş ışınımı miktarı $kcal/m^2h$, W/m^2
I_T	Toplam güneş ışınımı miktarı, $kcal/m^2h$, W/m^2

Simgeler	Açıklama
KKO_{ay}	Aylık ortalama kazanç/kayıp oranı
KPF	Belli bir yerleşim birimi için ısıtma gerektiren dönemde baca etkisi ve rüzgar şiddetini dikkate alan basınç faktörü, Wh/m^3
L	Hava sızıntısı miktarı m^3/h
N	Cam tabakaları arasındaki boşluğun sayısı
n_h	Hava değişim sayısı
Nu	Nusselt sayısı
q	Pencereden birim zamanda gerçekleşen ısı akımı miktarı, W/m^2
q_{RCi}	Tek tabakalı cam tarafından iç ortama geçirilen ısı enerjisi miktarı W/m^2
q_{cam}	Camlı yüzeyin güneşten ısı kazancı, W/m^2
q_i	Camdan içeriye doğru ikinci ısı transferi, W/m^2
Q_{ay}	Binanın aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı, Joule
Q_{net}	Isıtma gerektiren dönem için net ısı transferi miktarı, MJ/ m^2, KWh/ m^2
Q_{sol}	Isıtma gerektiren dönem için ortalama yöne göre hesaplanmış olan düşey yüzeydeki toplam güneş ışınımı MJ/ m^2, KWh / m^2
r	Cam tabakasının ısıl direnci, mK/W
$r_{i,ay}$	Pencerenin aylık ortalama gölgelenme faktörü
SHGC	Camın güneş ısısı kazanç katsayısı
t	Zaman, Ms
t_i	Isıtma sezonu boyunca ortalama iç ortam sıcaklığı ,° C
t_o	Isıtma sezonu boyunca ortalama dış ortam sıcaklığı ,° C
t_o-t_i	İç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı K, ºC
T	İç ortam sıcaklığı ,°C
Ti	Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı, °C , K
$T_{d,ay}$	Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı, °C, K
T_m	Cam tabakalarının boşluğa bakan yüzeylerinin ortalama sıcaklık değeri, K, ºC
T_o	Ortalama dış ortam sıcaklığı ,°C

Simgeler	Açıklama
T_{vis}	Camın güneş ışınımının görülebilir kısmının geçirgenlik değeri
S_λ	Güneş ışınımının spektral gösterimi
U_{ck}	Camın kenarının ısı geçirme katsayısı, W/m^2K, $W/m^{2\circ}C$
$U_{cam\ merkezi}$	Camın merkezinin ısı geçirme değeri, W/m^2K, $W/m^{2\circ}C$
$U_{çerçeve}$	Çerçevenin ısı geçirme katsayısı, W/m^2K, $W/m^{2\circ}C$
U_o	Pencerenin toplam ısı geçirme değeri, W/m^2K, $W/m^{2\circ}C$
$V_{brüt}$	Brüt Hacim, m^3
V_h	Havalandırılan hacim, m^3
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$	Cam tabakalarının boşluğa bakan yüzeylerinin T_m değeri mutlak olarak kabul edildiği koşula göre düzeltilen emissivite değerleri
η	Ortalama kazanç kullanım faktörü
θ	Güneş ışınımının geliş açısı
λ	Güneş ışınımının dalgaboyu
μ	Boşluğu dolduran gazın dinamik viskozivite değeri, kg/ms
σ	Stefan Boltzman sabiti
α	Camın güneş ışınımını soğurma değeri
α_λ	Yüzeyin gelen ışınımın dalgaboyuna bağlı olarak değişim gösteren soğurma değeri
τ	Camın güneş ışınımını geçirgenlik değeri
ρ	Camın güneş ışınımını yansıtma değeri
ρ_g	Zeminin yansıtıcılık değeri
ρ	Boşluğu dolduran gazın yoğunluğu, kg/m^3
ΔT	Cam tabakalarının boşluğa bakan yüzeylerinin sıcaklıklarının farkı K,ºC
$\Delta\lambda$	Dalga boyu adımı

Simgeler	Açıklama
Ψ_g	Cam tabaka, boşluk ve çerçevenin ısıl etkilerinin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan doğrusal ısıl geçirgenlik W/mK
$\tau_g(\lambda)$	Tüm cam için spektral iletim
τ_e	Direkt güneş iletimi
Φ_{iay}	Aylık ortalama iç kazançlar, W
$\Phi_{g,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı, W

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
ASTM	American Standard of Testing Material
AER	Annual Energy Rating
BS	British Standard
BFRC	British Fenestration Rating Council
CSA	Canadian Standards Association
CEN	Commite European Normalisation
CANMET	Canadian Centre for Mineral and Energy Technology
DGU	Double Glazing Unit
DIN	Deutsche Industriell Norm
DOE	Department of Energy
DS	Danish Standard
DTU	University of Denmark
DWERS	Domestic Window Energy Rating System
EİE	Enerji İşleri Etüd İdaresi
EPA	Energy Protection Agency

Kısaltmalar	Açıklama
EPACT	Energy Policy Act
ER	Energy Rating
EWERS	European Window Energy Rating System
FCR	Fenestration Cooling Rating,
FDM	Finite Difference Method
FHR	Fenestration Heating Rating,
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning
IEA	International Energy Agency
IGU	Insulated Glass Unit
IR	Infra Red
IRC	Institute for Research in Construction
ISO	International Standard Organization
LBL	Lawrance Berkeley Laboratories
Low-E	Düşük Emissivite
NEN	Nederlands Normalisatie Instituut
PEDS	Pencere Enerji Derecelendirme Sistemi
TGU	Triple Glazing Unit
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
UV	Ultra Viyole
WERS	Window Energy Rating System
WINDAT	Window Energy Data Network
WIS	Window Information System

1. GİRİŞ

20.yy. da endüstrileşme ve kaynakların bilinçsiz kullanımı, giderek artan çevre kirliliği, enerji kaynaklarının azalması, CO_2 ve çevreye zararlı gaz emisyonlarındaki artış sonucu ozon tabakasının delinmesi, global ölçekte sera etkisi ve iklimlerin dönüşü olmayacak biçimde değişmesi gibi dünyanın geleceğini tehdit eden sorunlarını beraberinde getirmiştir.

Enerji artık toplumların gelecekte de var olabilmelerinin anahtarı konumundadır. Bu gerçek, günümüzde gelişmiş ülkelerin yaşamlarının hemen her kesiminde yeniden yapılanmaya yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. 1997 yılında Kyoto'da imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 2005 Şubat ayında yürürlüğe girmiştir. Sözleşme kapsamında zararlı gaz emisyonlarının 1990 yılı düzeyine çekilmesi, yaklaşık olarak % 5,2 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Amerika dışında endüstrileşmiş ülkelerin büyük çoğunluğu bu protokole imza atmış, konuya yönelik kısıtlayıcı tedbirler almıştır.

Günümüzde gelişmiş ülkelerde ekolojik dengenin korunması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik verilmesi, toplumun her alanında olduğu gibi, mimariye ve yapı sektörüne de yansımaktadır. 1973'deki enerji krizinden bugüne, binalarda enerji korunumu, pasif güneş tasarımlarından 1990'lı yıllarda enerji etkin, ekolojik bina uygulamalarına doğru gelişen bir süreç söz konusudur. Binalar artık kaynakları etkin kullanan, az tüketme, yeniden kullanma, geri dönüştürme, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ağırlık verme ilkeleri kapsamında çevre ve insan sağlığına duyarlı bir içerik kazanmıştır.

Binanın enerji performansının optimizasyonu bağlamında, sistem ve bileşenler arası etkileşim ve dayanışmadan hareketle, doğal enerji kaynaklarından maksimum yararlanmayı hedefleyen, pasif sistemlerin katkısı ile enerji tüketimini azaltan, ekolojik, enerji etkin tasarım ve işletim

yaklaşımlarının mimarlık platformunda farklı bina tiplerinde yaygınlaştığı görülmektedir.

1990'ların sonunda çerçevesi çizilen mimarlık ortamı bağlamında 21.yy. binalarına bakıldığında; değişen koşullar ve farklı girdiler kapsamında, camlı yüzeyler farklılaşan dış ortam girdilerine yanıt verebilen ve adaptasyon yeteneğine sahip, dinamik, değişken bir bileşen olmak durumundadır [Selkowitz, 1999]. Camlı yüzeylerin, dolayısı ile pencerelerin tasarımı binanın enerji performansı açısından üstlendiği rol artık bu anlamda ele alınmaktadır.

Camlı yüzeylerin yapı kabuğunun enerji performansına etkiyen belki de en kritik bileşen olma özelliği, bina enerji simülasyonlarının temel girdilerinden biri olması, özellikle 1990'lardan günümüze cam teknolojisi ve camlı yüzeylerin enerji performansına yönelik çalışmalara hız kazandırmıştır. Gelişmiş ülkelerde camın optik ve termofiziksel özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yeni teknolojiler, yeni malzeme arayışları devam etmektedir (cam tabakaları arasına asal gaz uygulaması, aerogeller, şeffaf ısı yalıtım malzemeleri, güneş kontrolü sağlarken gün ışığı geçirgenlik değeri yüksek olan seçici geçirgen camlar, değişen güneş ışınımına karşı adaptasyon yeteneğine sahip elektrokromik, termokromik, çevrimli, akıllı camlar,vb.) [Karlsson 2001; Duer 2001; Hübe 2001; Platzer, 2005].

Camlı yüzeylerin yıllık bazda binanın enerji performansına etkisinin detaylı biçimde etüd edildiği, iklimsel koşulların dikkate alındığı bina ölçeğinde, ya da sırf camlı yüzeyler boyutunda incelendiği simülasyon programları geliştirilmektedir. Bina enerji performansına yönelik programlara örnek olarak, DOE-2.1, E-QUEST, Energy Plus, ESPR, TRNSYS, tsbi3, Energy-10, DEROB-LTH, BRIS, CHENATH, HELIOS programları, camlı yüzeylerin binaların enerji performansına etkisini inceleyen programlara örnek olarak PARASOL; RESFEN, Win-Sel programları referans verilebilir. Bu programlar yardımı ile farklı bina tipleri ve farklı iklim koşullarına uygun olan camlı yüzey

alternatifleri belirlenmekte, binanın enerji performansı önemli oranda yükseltilmektedir.

Tüm bunlar binanın enerji performansı üzerine çalışan mimarların ve mühendislerin özellikle üzerine eğildiği konulardır, Ancak, yapının uygulamaya aktarılmasında, mal sahibi ve kullanıcıların bilinçlenmesi en az doğru tasarımlar yapmak kadar önem taşımaktadır. Kullanıcının binanın enerji performansı ya da camların optik ve termofiziksel değerleri üzerine detaylı bilgi sahibi olması beklenemez. Bu açıdan, kullanıcın doğru tercihi yapabilmesi amacıyla camlı yüzeylerde kullanılacak ürünün enerji açısından değeri, enerji derecelendirme sistemi, yani bir diğer söylemle enerji tüketim profili (energy rating), etiketleme (labelling) yöntemi ile ürünün üzerinde belirtilmektedir. Pencerelerin enerji performanslarının derecelendirilmesi ve etiketlemesine yönelik çalışmalar 1990'ların başında Kuzey Amerika'da, ABD ve Kanada'da başlayan çalışmalar, günümüzde AB üye ülkelerinde de hız kazanmıştır.

Kanada ve ABD'de bu amaçla, ülkelerin enerji bakanlıkları ve araştırma kuruluşları, (Department of Energy-DOE, Energy Protection Agency-EPA-Canadian Centre for Mineral and Energy Technology-CANMET, Institute for Research in Construction IRC), araştırma Laboratuarları (Lawrance Berkeley Laboratories-LBL), üniversite (University of Waterloo-Canada), üretici firmaların birlikte oluşturdukları kurumlar (Enermodal Engineering-Canada, National Fenestration Rating Council- NFRC), standard enstitüleri (Canadian Standards Association-CSA) işbirliği ile konuya yönelik standardlar (CSA A.440.2-3 1998-2003, NFRC 901 2002), hesaplama ve değerlendirme yöntemleri (ER System Canada, FHR-Fenestration Heating Rating, FCR-Fenestration Cooling Rating, Energy Star Window), simülasyon programları (Vision, Frame-Enermodal Engineering and University of Waterloo Canada, Windows 5.2, Optics 5.2, Therm 5.2, RESFEN 5.0-LBL,USA) oluşturulmuştur. Avustralya'da ise Amerika'nın Energy Star Window sistemine benzer biçimde pencere enerji derecelendirme sistemi olan WERS- 1995 yılında geliştirmiştir.

WERS sisteminde hesaplamalarda Windows, Optics, Therm, Konut binası enerji performansı analizinde CHENATH, pencere derecelendirmesinde NATHERS programlarını kullanmaktadır.

Avrupa'da 1999 yılında İngiltere de kurulan BFRC (British Fenestration Rating Council) önderliğinde, Kuzey Amerika'nın geliştirdiği model baz alınıp, kendi iklim koşullarına adaptasyonu sonucu, BSI, Part L 100 standardının revizyonuna yönelik çalışmalar geliştirilmiş, 2004 yılında revizyon önerisi getirilmiştir, ilgili standardın Nisan 2006 tarihinde revizyonu düşünülmektedir. 2000-2003 yıllarında AB V. Çerçeve programı kapsamında 8 AB Üyesi ülkenin (İngiltere, İsveç, Danimarka, Finlandiya, İtalya, Almanya, Hollanda, Norveç) katılımı ile SAVE–EWERS (European Window Energy Rating System, Avrupa Genelinde Pencere Enerji Derecelendirme Sistemi) projesi geliştirilmiştir. Proje final raporunda, pencerelerin farklı iklim koşullarında enerji performanslarının değişeceği, bu nedenle iklime uygun pencere seçimi yapılmasının gerekliliği üzerinde fikir birliğine varılırken, ülkelerin pazar dinamiklerinin farklılığı, derecelendirme sisteminde kullanılan hesaplama yönteminin gelişmişlik düzeyi üzerinde fikir birliğine varılamaması nedeniyle proje uygulamaya geçememiştir. Pencerelerin enerji derecelendirme sisteminde kullanılacak hesaplama yöntemi üzerinde ülkelerin yaklaşımları farklılık göstermektedir. İngiltere, Hollanda, Almanya derecelendirme sisteminde daha basit ama geniş kullanıcı kitlesine ulaşmayı hedefleyen bir hesaplama yöntemini benimserken, İsveç, Norveç ve Danimarka daha detaylı veri tabanı gerektiren gelişmiş bir yöntem kullanmaktadır. Finlandiya'da ise dinamik faz koşullarında hesaplama yapan simülasyon programı kullanılarak derecelendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. 2004 yılında ülkeler kendi derecelendirme sistemlerini geliştirmek üzere pilot projelere başlamışlardır. İlgili ülkeler 2005 yılı sonu ve 2006 yıllarında kendi ulusal pencere enerji derecelendirme sistemlerini oluşturacaktır. AB Ülkeleri'nin de gerek kendi standardlarında (BSI-Part L, DS, DIN, NEN, vb.), gerekse CEN, EN, ISO standardlarında revizyonlar yapılmakta olup, halen çalışmalar devam etmektedir.

Avrupa Birliğine entegrasyonu hedefleyen Türkiye'nin resmi kurum ve kuruluşlar (EIE, TSE, Bayındırlık Bakanlığı), standardlar (TS 825, TS 2164), üretici firmalar ve organizasyonlar (Şişecam,vb.) totalinde konuya ait çalışmaları gelişmiş ülkelerin çok gerisindedir. Yıllık enerji gereksiniminin %61'ini ithal eden ülkemizde binalarda kullanılan enerji toplam tüketilen enerji miktarının % 33'üne karşılık gelmektedir. Konut binalarında tüketilen enerji miktarı ise tüm binalar genelinde tüketilen enerjinin %34'ünü oluşturmaktadır. Türkiye koşullarında konutlarda kullanılan enerji özellikle ısıtma gerektiren dönemi kapsamaktadır [Şişecam, 2005].

Konut binaları özelinde Türkiye iklim koşulları için uygun cam tiplerinin saptanmasına yönelik tez çalışması, öncelikle konut binalarında ısıtma gerektiren dönemde kullanılacak enerjinin tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. Çalışmadan elde edilecek sonuçlar, konuya yönelik standardların revize edilmesi, uygulamada yaptırımın sağlanması, binalarda tüketilen enerjinin tasarrufu bağlamında ülke ekonomisine katkıda bulunacak, yapı sektörünün Avrupa Birliği'ne entegrasyonun sağlanması açısından önemli bir kazanç oluşturacaktır.

Tez çalışması yukarıda çizilen çerçeveden yola çıkarak, Türkiye koşullarında, bina sektöründe enerji kullanımı açısından önemli bir paya sahip olan konut yapılarında dört ayrı derece gün bölgesini karakterize eden dört il için, ısıtma gerektiren dönemde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak, uygun, cam tiplerinin belirlenmesini hedeflemektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar Türkiye iklim koşullarına göre pencerelerin enerji performanslarının derecelendirilmesine baz oluşturmaktadır.

Tez çalışmasının 2. bölümünde öncelikle kavramsal çerçevede literatür araştırması yapılarak, araştırma evreni tanımlanmıştır. Pencerelerin enerji performanslarının etüdü ve enerji derecelendirme sisteminin saptanmasına yönelik olarak yurtdışında, Kuzey Amerika'da LBL (Lawrance Berkeley Laboratories), NFRC (National Fenestration Rating Council), Kanada

Waterloo Üniversitesi, Enermodal Engineering, Canmet ve CSA (Canadian Standard Association), İngiltere BFRC (British Fenestration Rating Council) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, Avrupa Topluluğu V. Çerçeve programı kapsamında gerçekleştirilen Avrupa Enerji Derecelendirme Sistemi (European Window Energy Rating System- EWERS) projesi, İsveç Uppsala Üniversitesi Angstrom Fizik Laboratuvarı (University of Uppsala Angstrom Solid State Physics Lab.), İsveç Lund Üniversitesi (Lund University Energy Group), Danimarka Teknik Üniversitesi (Technical University of Denmark Building and Energy Group-DTU-Byg) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar başlıklarında ele alınmaktadır. Doktora çalışmasında Türkiye'de pencerelerin ısıl performanslarının değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmalar da incelenmektedir.

3. Bölüm, pencerelerin enerji performanslarının değerlendirilmesine yönelik derecelendirme ve etiketleme çalışmaları içermektedir.

4. Bölümde pencerelerin enerji performansına yönelik uluslararası standardlar incelenmekte, pencerenin enerji performansını belirleyen temel performans göstergeleri (U, SHGC-g, Vt, Dx) ve ilgili standardlar, pencerelerin optik ve termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasına yönelik, gerek pencere, gerekse bileşen (cam-çerçeve) özelinde geliştirilen simülasyon programları incelenmekte, programlar karşılaştırılmaktadır. Tez çalışmasında seçilen pencere tiplerine ait performans göstergelerinin hesaplanmasında AB 5. Çerçeve Programı kapsamında TNO firması tarafından Windat-SAVE projesi için geliştirilen Advanced Window Information System-WIS Programı kullanılmaktadır.

5. Bölüm, Pencerelerin Enerji Derecelendirme Sistemleri (Window Energy Rating System-WERS) üzerine geliştirilen hesaplama yöntemlerini kapsamakta, Türkiye için oluşturulacak modele baz teşkil etmektedir. Bu bölümde pencerelerin enerji derecelendirme sisteminin oluşturulmasına yönelik incelenecek modeller; 1989 yılından itibaren geliştirilen Kanada Enerji

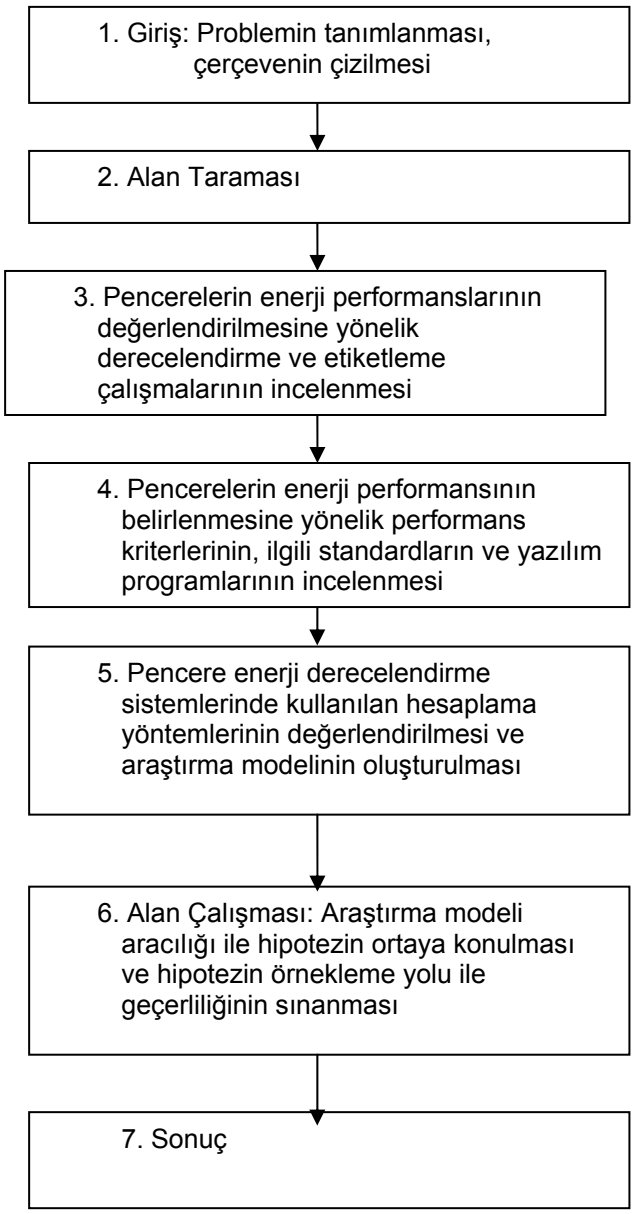
Derecelendirme Sistemi (Energy Rating-ER), 1990'larda Amerika'da Ulusal Pencere Derecelendirme Kurulu (National Fenestration Rating Council-NFRC) tarafından oluşturulan Yıllık Enerji Derecelendirme Sistemi (Annual Energy Rating System), İngiltere'de, İngiliz Pencere Derecelendirme Kurulu (British Fenestration Rating Council BFRC) tarafından 2000-2004 yıllarında geliştirilen, yukarıdaki iki sistemin basitleştirilmiş bir versiyonu olan Konut Binaları için Pencere Enerji Derecelendirmesi Sistemi (Domestic Window Energy Rating System- DWERS), Danimarka Teknik Üniversitesi (Technical University of Denmark Building and Energy Group-DTU-Byg) tarafından 2000 yılında geliştirilen Doğrusal Pencere Pencere Enerji Derecelendirmesi Sistemi (Linear Window Energy Rating System), İsveç Uppsala Üniversitesi Angstrom Fizik Laboratuvarı (University of Uppsala Angstrom Solid State Physics Lab.) tarafından geliştirilen, Denge Noktası Sıcaklığına Dayalı Pencere Enerji Derecelendirme Yöntemi (Balance Point Temperature Window Energy Rating System) başlıklarında ele alınmakta, açıklanan modeller karşılaştırılarak Türkiye koşulları için uygun model saptanmaktadır.

6. Bölümde, Türkiye de alçak katlı konut binalarında dört derece gün bölgesi için uygun pencere tiplerinin saptanması ve enerji derecelendirme sisteminin belirlenmesine yönelik alan çalışması gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında öncelikle referans binaya ait özellikler, dört derece gün bölgesini karakterize eden illere ait iklim verileri ve seçilen pencere tipleri tanımlanmakta, EWERS ve İngiltere pencere enerji dereceleme sistemi hesaplama yönteminin ülkemiz iklim koşulları ve TS 825 verileri dikkate alınarak uyarlanmasına dayalı olarak, pencerenin net ısı kazancı denkleminde kullanılan iklim değişkenleri olan, dört derece gün bölgesine ait A ve B katsayıları, net enerji transferi miktarları (Q_{net}) hesaplanmakta, pencereler performanslarına göre sıralanarak karşılaştırılmakta, uygun cam tipleri belirlenmektedir.

Sonuç bölümünde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmekte, Türkiye koşullarında 4 derece gün bölgesinde ısıtma

gerektiren dönem için alçak katlı konut binalarında uygun pencere alternatifleri ve pencerelerin enerji derecelendirme sisteminin belirlenmesinin TS 825 ve TS 2164 standardlarına yansımasının gerekliliği tartışılmakta, konuya yönelik sonraki aşamalarda gerçekleştirilebilecek çalışmalar ele alınmaktadır.

Doktora çalışmasında süreci karakterize eden bilimsel araştırma yöntemi olarak, tümden gelim, tümevarım yöntemleri (hipotetik-dedüksiyon) birlikte ele alınmıştır. Tezin akış şeması Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Doktora tezinin akış şeması

2. KONUT BİNALARINDA PENCERELERİN ENERJİ PERFORMASINA YÖNELİK ALAN TARAMASI

Binalarda enerji etkinliğinin sağlanmasının giderek önem kazanması ve bu alandaki çalışmaların hızlanması paralelinde, özellikle son on yılda bina bütününde ve bileşen bazında ısıl performans analizleri gerçekleştirilmektedir.

Camlı yüzeyler ısıl direçlerinin opak kabuk bileşenlerinden yaklaşık altı kat daha düşük olmasına karşın, güneşin kısa dalga kızılötesi ışınımlarını iç ortama geçirerek ısıtma gerektiren dönemde pasif kazanç sağlama potansiyeli taşımaları, doğal aydınlatma açısından vazgeçilmez oluşları nedeniyle, binanın enerji performansı açısından yapı kabuğunun en önemli bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Camlı yüzeylerin enerji performansının arttırılmasına yönelik yurtdışında gerçekleştirilen projeler incelendiğinde, Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency-IEA) tarafından finanse edilen IEA Task 18 Advanced Glazing Materials for Solar Applications (1992-1997), IEA Task 27 Performance Durability and Sustainability of Advanced Windows and Solar Components For Building Envelopes (2000-2003) çalışmaları gerek camlı yüzeylerin ısıl performansının arttırılmasına yönelik yeni malzeme arayışları, gerekse farklı pencere tiplerinin ısıl performansının analizi açısından detaylı bilgi içermektedir. IEA Task 18 ve IEA Task 27 projelerine Amerika, Kanada, İngiltere, Almanya, Hollanda, İsveç ve Danimarka'da camlı yüzeylerin enerji performansı konusunda bilimsel çalışmaları bulunan üniversite ve araştırma enstitüleri katılım göstermiştir [Parekh, 2000; Platzer, 2005; Karlsson, 2001]. IEA Task 18 projesi final raporunda, pencerelerin enerji performanslarının etüdüne yönelik standart bir modelin oluşturulması ve camlı yüzeyler için uluslararası enerji derecelendirme sistemine geçilmesinin gerekliliği belirtilmiştir [Karlsson, 2001].

Camlı yüzeylerin ısıl performanslarının arttırılmasına yönelik çalışmaların özellikle soğuk iklime sahip olan ülkelerde yoğunluk kazandığı görülmektedir. Kanada Pencere Enerji Derecelendirme Sistemi-ER [Carpenter ve ark., 1989] ve Amerika Enerji Derecelendirme Sistemi bu alanda gerçekleştirilen ilk çalışmalardır [Crooks ve ark., 1995]. 1992 yılında gerek Kanada, gerekse ABD'de ülkelerin Enerji polikalarına yönelik (Energy Policy Act, 1992, US, CA) kanunlarda pencerelerin enerji performanslarının tanımı yapılmıştır.

Pencerelerin ısıl performansının değerlendirilmesinde en önde gelen kuruluşların başında Amerika California Berkeley Universitesi, Lawrance Berkeley Labotaruvarları, Pencere ve Aydınlatma Grubu (Lawrance Berkeley Lab., Energy and Environment Division, Window and Daylighting Group) gelmektedir. Grup, pencerelerin enerji performansının geliştirdikleri PC programları olan, Windows 5.2, Optics 5.2, THERM 5.2, RESFEN 5.0 ile konut binalarının dış yüzeyinde yer alan pencere, kapılar ve ışıklıklardaki cam ve doğramanın (fenestration), dinamik iklim koşullarında bina ısıl performansına olan etkisini incelemektedirler. Bu programlar günümüzde cam üretim endüstrisinde geniş oranda kullanılmaktadır. Programlar camlı yüzeylerden gerçekleşen ısı transferinin (ısı kayıpları ve kazançları) analizini içermekte, Amerika'da National Fenestration Rating Council (NFRC) tarafından yeni ürünlerin tasarlanması, performansının ölçülmesinde kullanıldığı gibi farklı ürünlerin performanslarının karşılaştırılmasına ve performans değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Programlar, LBL tarafından teknololojik ve bilimsel gelişmeler paralelinde yenilenmektedir.

Kanada 'da Amerika'daki çalışmalara paralel olarak Enermodal Engineering ve Waterloo Universitesi tarafından, 1992 yılından günümüze geliştirilen VISION 5.0, FRAME 5.0 programları da benzer şekilde pencere ve çerçevelerin ısıl performanslarını analiz etmektedir [Mc Govan ve ark., 1998]. Çalışmalar sonucunda CSA A440.2, 1995, 1998, 2002, NFRC 9001, (1999) ASHRAE 90.1 (1999) standardları oluşturulmuştur.

Avrupa'da 2000-2003 yıllarında AB V. Çerçeve programı kapsamında 8 AB üyesi ülkenin (İngiltere, İsveç, Danimarka, Finlandiya, İtalya, Almanya, Hollanda, Norveç) katılımı ile SAVE–EWERS (European Window Energy Rating System, Avrupa Genelinde Pencere Enerji Derecelendirme Sistemi) projesi geliştirilmiştir. Bu amaçla ülkelerin konuya yönelik enstitü, kuruluş, üniversiteleri işbirliği ile önce konferanslar (Helsinki 2000, Londra 2000), sonra da araştırma projeleri gerçekleştirilmiş, proje raporları halinde sunulmuştur. Proje final raporunda, pencerelerin farklı iklim koşullarında enerji performanslarının değişeceği, bu nedenle iklime uygun pencere seçimi yapılmasının gerekliliği üzerinde fikir birliğine varılırken, ülkelerin Pazar dinamiklerinin farklı oluşu ve derecelendirme sisteminde kullanılan hesaplama yönteminin gelişmişlik düzeyi üzerinde fikir birliğine varılamaması nedeniyle, proje uygulamaya aktarılamamıştır. Pencerelerin enerji performanslarının derecelendirilmesinde kullanılan yöntemler basitten daha kompleks hesaplama yöntemlerine doğru dört farklı düzeyde ele alınmaktadır. İngiltere, Hollanda, Almanya derecelendirme sisteminde 2. düzeyde bir yöntemi benimserken, İsveç, Norveç, Danimarka 3. düzeyde, Finlandiya 4.düzeyde hesaplama yöntemlerini benimsemişlerdir. 2004 yılında ülkeler kendi derecelendirme sistemlerini geliştirmek üzere pilot projelere başlamışlardır. İlgili ülkeler 2005 yılı sonu ve 2006 yıllarında kendi ulusal pencere enerji derecelendirme sistemlerini oluşturacaktır.

Avrupa'da 2000 yılından itibaren özellikle kuzey ülkeleri olan İsveç ve Danimarka'da konuya yönelik bilimsel çalışmalar yürütülmüştür. İsveç Uppsala Üniversitesi Angstrom Fizik Laboratuvarı (University of Uppsala Angstrom Solid State Physics Lab.), Karlsson, J.,A., 2001 yılında gerçekleştirdiği doktora çalışmasında, Karlsson, B.'nin 1994 yılında oluşturduğu denge noktası yöntemine göre pencerelerin ısıl performans analizi metodunu, açıya bağlı g değerlerini de iklim koşullarına göre analiz ederek yeni bir yöntem geliştirmiştir. Camlı yüzeylerin ısıl performanslarının ölçülmesi, derecelendirilmesi, camların açıya bağlı güneş ışınımı kazanç katsayısı (g-SHGC) değerlerinin hesaplanması ve İsveç koşulları için maliyet

analizlerinin yapılmasını kapsayan doktora tezinde, hazırlamış olduğu Win-sel yazılımı ile İsveç koşulları için pencerelerin detaylı ısıl performans analizleri yapılabilmektedir.

Karlsson ve Ross, 1999, 2000, 2001 yıllarındaki çalışmalarda, Avrupa'da pencerelerin enerji derecelendirme sistemlerini karşılaştırmakta, farklı cam tiplerinin konut binalarında, farklı yönler ve camlı yüzey alanları için performans analizlerini gerçekleştirmektedir [Karlsson, 2001].

İsveç Lund Üniversitesi Mimarlık Bölümü, Enerji Grubu'nun (Lund University Energy Group) 2000-2005 yılları arasında yapmış oldukları çalışmalarda Wall, Hübe, Karlsson, B, Rozencrantz İsveç iklimi için konut ve ofis binalarının, camlı yüzeylerinin farklı cam tipleri, camlı yüzey alanları, güneş kontrol elemanlarının pencere performansına etkisini, DEROB lth, Parasol 2.0 bina simulasyon programları yardımı ile etüd etmektedir [Hübe, 2001; Karlsson, 2001]. Özellikle 2005 yılında Rozencrantz ve Roos tarafından antireflektif kaplamaların konut binalarında ısıl performansa ve doğal aydınlatmaya etkisi ele alınmıştır. Çift tabakalı Low-E kaplamalı cam içeren pencerelerde düşük demir içerikli antireflektif kaplamaların ısıtma gerektiren dönemde performansı %7-15 oranında arttırdığı hesaplanmıştır [Rozencrantz, 2005].

Danimarka Teknik Üniversitesi'nde (Technical University of Denmark Building and Energy Group-DTU-Byg) Svendsen, Duer, Lorentzen, Nielsen tarafından 2000-2001 yıllarında gerçekleştirilen çalışmalarda, pencerelerin enerji performansına yönelik farklı yazılımlar (WIS, Window, Calumen, Vision, GLAD99) kullanılarak karşılaştırmalı analizleri yapılmış, EN ISO 8890'a uygun olarak Hot-Box deney düzenekleri ile yıllık bazda pencerenin enerji performansları ölçülmüş, hesaplamalarla, deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, yazılımlar kullanılarak yapılan hesaplamaların, deney sonuçları ile %5 farklılık içerdiği, bu sonuçların kabul edilebilir sınırlarda olduğu ifade edilmiştir [Nielsen ve ark., 2002]. Ekip tarafından konut

binalarında pencerelerin enerji performanslarının derecelendirilmesinde kullanılmak üzere Danimarka Doğrusal Enerji Derecelendirme sistemi geliştirilmiştir. Bu sisteme göre, alçak katlı konut binalarında, iklim verilerinin etkisi göz önünde bulundurularak ısıtma gerektiren dönem boyunca, farklı cam tipleri ile oluşturulan pencerelerin net enerji performansları değerlendirilmektedir.

Svendsen, Kragh ve Laustsen tarafından 2005 yılında gerçekleştirilen çalışmada ise, derecelendirme sisteminde farklı pencere boyutlarının kullanılmasının net enerji performansına etkisi etüd edilmektedir [Svendsen ve ark., 2005].

2003-2005 yılları arasında Hemmila tarafından TRNSYS bina simülasyon programı kullanılarak Finlandiya iklim koşullarında konut binalarının pencereleri için ısıtma gerektiren dönem enerji performanslarının derecelendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmış ve Finlandiya koşulları için pencere enerji derecelendirme sistemi oluşturulmuştur. Model 2006 yılında devreye girecektir [Hemmila, 2005].

İtalya'da 2000 yılında Maccari ve Zinzi tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise yine TRNSYS programı kullanılarak İtalya iklim koşulları için, altı farklı konut binasına ait pencere enerji performans analizleri gerçekleştirilmiştir [Maccari ve Zinzi, 2000].

Türkiye'de farklı cam tiplerinin ısıl performanslarının analizine yönelik çalışma olarak Ayçam (1998) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde farklı cam tipleri ile oluşturulan pencerelere ait ASHRAE yaz /kış koşulları için hesaplanan g ve U değerleri, ısıtma ve soğutma gerektiren dönemleri karakterize eden günler, optimum yön ve birim alan için, Ankara ve Antalya kentlerindeki performansları etüd edilmiştir. Çalışma sonucunda ısıtma ve soğutma dominant olan bölgeler için cam seçimine ait genel yönlendirmelerde bulunulmuştur [Ayçam, 1998].

Koçlar tarafından 2000 yılında gerçekleştirirlen çalışmada, İstanbul ili için ısıtma gerektiren dönemi karakterize eden güne ait, çift tabakalı ahşap ve PVC doğramalı pencerelerin yönler ve saydamlık oranı göz önünde bulundurularak, ısıl performans analizi yapılmıştır [Koçlar, 2000].

Bektaş, Aksoy tarafından, 2005 yılında gerçekleştirilen çalışmada, soğuk iklim bölgesinde yer alan Elazığ ili için, müstakil tek katlı bir konut binasının, TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardındaki hesaplama yöntemiyle dört ana yönde bulunan farklı pencere alanları, doğrama (ahşap, plastik ve alüminyum) ve cam (tek cam, Low-E kaplamalı çift cam) tipler kullanılarak oluşturulan pencere alternatifleri için binanın yıllık ısıtma enerjisi gereksinimi değerlendirilmiştir [Bektaş ve Aksoy,2005].

Türkiye’de konut binalarının, farklı cam tipleri kullanılarak, dört derece gün bölgesi için ısıtma gerektiren dönem boyunca gösterdikleri performans analizi ve pencerelerin enerji performansına ait değerlendirme çalışması henüz yeterli düzeyde detaylandırılmamıştır. Avrupa Birliği üye ülkeleri, Kanada ve ABD’de konut binalarında kullanılan pencere tiplerinin, ısıtma gerektiren dönem için farklı iklimlerdeki performans analizleri sonucunda, pencere enerji derecelendirme sistemleri geliştirilmiş, standardlar oluşturulmuştur.

Türkiye’nin Avrupa Birliği’ne uyumlanma sürecinde, ilgili çalışmaları kendi iklim koşulları için gerçekleştirmesi, ülkenin yapı sektörünün AB ile entegrasyonu açısından önemlidir. Doktora çalışması bu amaçla gerçekleştirilmiştir.

3. PENCERELERİN ENERJİ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK DERECELENDİRME VE ETİKETLEME ÇALIŞMALARI

Ocak 2003 tarihinde yayınlanan, 2002/92/EC No'lu Avrupa Bina Enerji Performans Direktifi'nde (European Energy Directive- EEBPD, 2003) binaya ilişkin tüm strüktürel elemanların ve bileşenlerin enerji performans değerlerinin sertifikalandırılması gerekliliği belirtilmiştir. Bu amaçla Avrupa genelinde standardlar oluşturulmasına yönelik teknik komisyonlar tarafından yürütülen çalışmalar devam etmektedir.

Avrupa Bina Enerji Performans Direktifinin devreye girmesi, Ocak 2006 dan, Ocak 2007 tarihine ertelenmiştir. Direktifin devreye girmesinden sonra, tüm üye ülkeler, binalardan enerji kaybının hesaplanmasına yönelik detaylı hesaplama yöntemi geliştirmek, ulusal standardlarını revize etmek durumunda kalacaktır. Direktif, üye ülkeleri yönetmeliklerinin detay düzeyini saptamakta serbest bırakmıştır [Platzer, 2005; Avasoo, 2002] Bu amaçla ülkeler, bileşen ve bina bazında enerji performansının değerlendirilmesine yönelik yöntemler oluşturmaktadırlar. Bileşen bazında değerlendirmede, tarifleyici performans kriterlerine göre standardların hazırlanması ön görülürken, bina bazında değerlendirmede sabit veya dinamik koşullar için farklı iklim bölgelerinde binaların performanslarının analiz edilmesi hedeflenmektedir.

Direktife göre hesaplamalarda EN 832: 1998, "Thermal Performance Of Buildings 'Calculation Of Energy Use For Heating – Residential Buildings', standardı yerine, EN ISO 13790 (2004) 'Calculations of Energy Use for Space Heating' standardı esas alınacaktır. EN 13790 mekanda tüketilen enerjinin hesaplanmasında, ısıtma yanı sıra soğutma, aydınlatma yüklerini de dahil etmektedir [Platzer, 2005].

Avrupa‘da 2000 yılından itibaren direktifte de belirtilen, binaya ilişkin tüm strüktürel elemanların ve bileşenlerin enerji performans değerlerinin sertifikalandırılması gerekliliğinden yola çıkılarak, konut binalarında pencerelerin enerji performanslarının derecelendirmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Avrupa’da inşaat sektörü toplam enerji kullanımının %48’ini tüketmekte olup, bu rakamın %70’i konut binalarının ısıtılmasında kullanılmaktadır [Avasoo, 2002]. Camlı yüzeylerin binalarda ısı kaybı ve aşırı ısınma sorunlarının temel kaynaklarından biri olması ve pencerelerin enerji performansının arttırılmasının binaların enerji veriminin yükselmesini önemli oranda etkilemesi nedeniyle, şeffaf bileşenlerin tasarım, malzeme seçimi, detaylandırma, üretim, uygulama, kullanım ve işletim aşamalarında doğru kararların alınması büyük önem taşımaktadır [Ayçam,1998; Lowe,1999].

Basit bir anlatımla enerji derecelendirme sistemi, pencerenin toplam enerji performansının değerlendirilmesi için geliştirilen bir yöntemdir [Lyons,1999]. Pencere enerji derecelendirme sistemleri camlı yüzeylerin ısıl performansına ait göstergeler olan güneş ısısı kazanç katsayısı, U değeri ve hava sızdırmazlık düzeyi değerlerini biraraya toplayarak, binanın bulunduğu bölgenin iklimsel koşullarına göre, enerji performanslarını ısıtma ve soğutma dönemleri için ifade etmektedirler. Bu sistemler tasarım aşamasında mimarların, uygulama aşamasında mimar-mühendislerin, mal sahibi ve kullanıcıların ısıtma ve soğutma dönemleri için konut binalarında en iyi performansı veren camı seçmelerine olanak sağlamaktadır [Carpenter,1998].

Pencerelerin enerji performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan konvansiyonel yaklaşımlar sadece pencere bileşenlerinin performans göstergelerinin, bir diğer söylemle optik ve termofiziksel özelliklerinin (pencerenin ısı geçirme katsayısı-U, pencerenin güneş ısısı kazanç katsayısı-g-SHGC) ürünün üzerinde ya da ürün kataloglarında belirtilmesine yönelik olup, pencerenin ne kadar enerji kaybettiğini değerlendirmekte, ancak güneş

ışınımı ile ne kadar enerjinin kazanıldığını dikkate almamakta, dolayısı ile net ısı kazancı açısından herhangi bir bilgi içermemektedir. Pencereler camlı yüzeylerin, güneşin kısa dalga kızılötesi ışınımına karşı geçirgen, iç mekandaki uzun dalga kızılötesi ışınıma karşı opak özellikte olmaları nedeniyle, ısıl dirençlerinin arttırılması paralelinde, binalar için enerji kazancı sağlayan bileşenlerdir [Selkowitz,1999; Duer, 2001]. İçsel ısı kazançları düşük olan konut binalarında ve ısıtma gerektiren dönemin dominant olduğu iklim koşullarında bu özellik binanın enerji performansı açısından büyük önem taşımaktadır [Ayçam,1998].

Enerji derecelendirme sistemi (energy rating), farklı pencere tiplerinin enerji performansını değerlendirmeye, binalarda, tasarımcı, uygulayıcı ve kullanıcıların enerji açısından yüksek performanslı ürünleri seçerek, doğru tercihte bulunmasına yönelik olarak geliştirilmiştir. Derecelendirme sistemlerinde bağımsız kuruluşlar tarafından standardlara uygun olarak gerçekleştirilen hesaplamalar ve testler sonucunda, ürünler onaylanarak performansları etiketlenmekte veya sertifikalandırılmaktadır. Bu sayede ürünlerin birbirine göreli enerji verimliliği belirlenmekte, pencere bileşenleri binaların enerji verimliliği açısından performansının arttırılmasında destekleyici görev üstlenmektedir [Lyons,1999; Lowe,1999].

Konut binaları için pencereler, buzdolapları ve çamaşır makinalarına (beyaz eşyalar) benzer bir yaklaşımla binanın dışında üretilmekte, şantiyede monte edilmekte, beyaz eşyalar gibi konut binasının kullanım aşamasında tüketilen toplam enerji miktarını etkilemektedir. Pencere sisteminin işletim ve denetim şekli (panjurlar, jaluziler ve diğer aksesuarlar dahil olmak üzere) ısıtma, soğutma ve aydınlatmada harcanan nihai enerji faturasını etkilemektedir. Bir çok ev aleti için, kullanım süreleri boyunca gereken enerjinin maliyeti, ilk yatırım maliyetinden fazladır. Benzer şekilde, ilk yatırım maliyeti ve enerji performansı düşük bir pencerenin kullanımı yerine, maliyet açısından daha az etkin ancak enerji performansı yüksek bir pencere tercihi, bina ömrü ömrü boyunca performansları karşılaştırıldığında ilk seçeneğe göre daha avantajlı

olacaktır. Bu bakımdan, enerji kullanımı, binanın ve bileşenlerinin bina ömrü boyunca performanslarının başlıca göstergesi olarak kabul edilmelidir [Lyons 1999].

3.1. Pencerelerin enerji derecelendirme sistemlerinin belirlenmesine yönelik yaklaşımlar

Pencerelerin enerji derecelendirme sistemlerinin (Window Energy Rating System-WERS) belirlenmesine yönelik farklı yaklaşımlar mevcuttur. Pencerenin enerji performansını kullanılan bileşenlerin (cam, çerçeve, boşluk çıtası, boşluğu oluşturan gaz) optik ve termofiziksel özellikleri etkilediği gibi, pencerenin bulunduğu iklim bölgesi (ısıtma ve soğutma gerektiren dönemlerin uzunluğu), bina tipi (metabolizmik kazançları yüksek ofis binası, metabolizmik kazançları düşük konut binası), camlı yüzeyin boyutları ve yönü de pencerenin binanın enerji performansına etkisini önemli oranda belirlemektedir.

Pencerelerin enerji derecelendirme sistemlerinin oluşturulmasında kullanılan yaklaşımlar basitten kompleks değerlendirme yöntemlerine göre dört ana başlıkta ele alınmaktadır [Karlsson, 2001; Lowe,1999; Svendsen, 2000; Lorentzen, 2001; Avasoo, 2002] :

1. Etap: Performans kavramının pencereyi oluşturan bileşenin optik ve termofiziksel özellikleri kapsamında değerlendirilmesini içerir. En basit değerlendirme yöntemidir. Performans göstergeleri ve ilgili standardlar ısı transferi açısından pencerenin ısı transfer katsayısı U_{pen}, (EN 673, ISO 10077-2) güneşten ısı kazancı sağlama ve güneş kontrolü açısından performansı güneş ısısı kazanç katsayısı SHGC-g değeri (EN 410, ISO DIS 15099), doğal aydınlatma açısından gün ışığı geçirgenlik değeri T_{vis} (EN 410, ISO DIS 15099) performans göstergeleridir. Bina tipi ve iklim koşullarının etkisini dikkate almayan genel değerlendirme yöntemidir.

2. Etap: Pencerenin iklim koşuluna göre enerji dengesinin ele alındığı basit bir değerlendirme yöntemidir. Pencerenin iklime bağlı net enerji kazancının hesaplanmasında, Performans değerlendirilmesinde ele alınan pencerelerin boyutları CE-damgalı ürün standardı olan prEN 14351 (CEN, 2005) "Pencereler ve dış mekandaki kapılar" standardında belirtilen boyutlarda seçilmektedir (1,23x1,48m).

Detaylandırılması farklı olmakla birlikte, Kanada ER, Amerika NFRC 9001 HR-CR, İngiltere BFRC-DWER, Danimarka doğrusal enerji derecelendirme sistemi derecelendirme sistemi de bu kategoride yer almaktadır. Performans değerlerinin (A-G'ye kadar harflendirme, yıldız verme ya da sayısal olarak belirtme yöntemleri ile) ürünün üzerinde etiketlenerek tariflendiği, mimar, uygulayıcı ve kullanıcıya enerji performansı açısından doğru ürünü seçtirmeyi hedefleyen, basit ama geniş kitlelere erişebilme özelliği olan bir değerlendirme sistemidir.

3. Etap: Yukarıda belirtilen performans değişkenlerine bina tipinin de dahil edildiği değerlendirme yöntemidir. Konut ve ofis yapıları gibi farklı bina tiplerinde içsel ısı kazançları değişim göstermekte, ısıtma soğutma yükleri farklılaşmaktadır. Referans binanın pencerelerinin boyutlarının ve bileşenlerinin değiştirilmesinin bina enerji performansına etkisi etüd edilmektedir. Amerika'da DOE tarafından geliştirilen E-STAR programı kapsamında LBL RESFEN 3.1 bilgisayar programı kullanılarak farklı derece gün bölgeleri için konut binalarında uygun pencerelerin belirlenmesi, pencerelerin performans göstergelerinin bu bölgeler için sağlaması gereken sınır değerlerinin saptanması yöntemi bu kategoriye örnek gösterilebilir. Bu yöntem, kullanıcılardan ziyade, mimar ve uygulayıcılara yönelik olup, bağımsız laboratuar ve araştırma kuruluşları tarafından geliştirilen, ülkenin tüm kentlerinin iklim koşullarını içeren bir yazılım ve detaylı bir veri tabanı gerektirmektedir.

4. Etap: Dinamik koşulların etkisinin etüd edildiği bina simülasyon programlarının kullanıldığı uygulamalardır. Bina enerji performansına etki eden tüm girdilerin (bina boyutları, yıllık saatlik bazda iklim verileri, bileşenlerin ısıl performansları, ısıl kütle miktarı, havalandırma düzeyi, içsel ısı kazanç düzeyi, kullanılan iklimlendirme sisteminin özellikleri, vb.) ele alındığı detaylı analizleri gerektiren bir süreçtir. Mimar ve tesisat mühendislerinin tasarım aşamasından itibaren bina enerji performansı açısından doğru kararların alınmasına yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır. Kullanıcılara ve geniş kitlelerden ziyade, uzmanlık gerektiren alanlarda ve bilimsel çalışmalarda kullanılan yöntemdir [Karlsson,2001].

3.2. Dünyada Pencere Enerji Derecelendirme Sistemlerine Bakış

Pencerelerin enerji performanslarına yönelik olarak 1989-2005 yılları arasında farklı ülkelerde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 1990'lı yıllardan günümüze ABD, Kanada ve Avustralya ve Yeni Zelanda'da konut binaları için pencere derecelendirme (rating) programları uygulanmaktadır. İngiltere (BFRC), Danimarka, İsveç gibi diğer bir çok ülke 2000'li yıllardan günümüze pencere enerji derecelendirme sistemi geliştirmek için ayrıntılı planlama, projelendirme veya uygulama çalışmalarını sürdürmektedir.

Amerikan (NFRC) sistemi performans göstergelerinin (U, g ve L) referans konut binasına göre, farklı iklim koşulları için enerji tüketiminin belirlenmesi esasına dayanmakta, ülkede farklı iklim bölgeleri (ısıtma yükü ağırlıklı iklim, soğutma yükü ağırlıklı iklim ve karma iklim) bulunması nedeniyle bir derecelendirme numarası oluşturma girişiminde bulunulmamaktadır [Lyons,1999]. Kanada sistemi aynı fiziksel özellikleri kullanmaktadır. Kanada ikliminin ısıtma yükü dominant olması nedeniyle derecelendirme sisteminde numaralandırma yapılabilmektedir.

Enerji derecelendirme sistemi sadece ısıtma yükü ağırlıklı iklimler için olmayıp, soğutmaya yönelik pencere enerji derecelendirme sistemi, ABD ve

Avustralya'da sıcak iklim bölgelerinde önem taşımakta, bu bölgelerde güneş kontrolüne yönelik cam tipleri tercih edilmektedir. Ancak incelenen ülkelerde konut binalarında ısıtma gerektiren dönem için pencere derecelendirme sistemine yönelik çalışmaların daha yaygın olduğu gözlemlenmiştir [Lyons,1999].

Avrupa'da da benzer programlar başlamakta veya geliştirilmektedir. İngiltere'de İngiliz Pencere Derecelendirme Kurumu (BFRC) İngiltere ve Avrupa için konut binalarında ısıtma gerektiren dönem için pencere enerji derecelendirme sistemi (EWERS) geliştirmektedir [Lowe,1999]. Bu proje AB 5. Çerçeve Programı tarafından finanse edilen büyük bir proje olup, pencere seçimi ve tasarımı konusunda Avrupa genelinde etkisi olacaktır. Avrupa genelinde iklim koşulları ABD'de olduğu gibi ülkelere ve bölgelere göre farklılıklar göstermektedir.

ABD, Kanada, Avustralya ve Yeni Zelanda'da üç farklı pencere derecelendirme programı gelişmektedir. ABD'deki sistem Ulusal Pencere Derecelendirme Konseyi (NFRC) tarafından geliştirilmiştir. Kanada'daki programın adı enerji derecelendirme sistemi (ER), Avustralya ve Yeni Zelanda'daki pencere enerji derecelendirme sistemi (WERS) olarak bilinmektedir. Bu kategori bugünün süper performanslı pencerelerini içermektedir. NFRC derecelendirme sisteminin güneş kontrol mekanizmaları gibi pencere bileşenlerinin performanslarını içerecek şekilde genişletilmesi söz konusudur.

Yıllık enerji tüketim profilleri, tipik evlerin ısıtma ve soğutma için ne kadar enerji kullandıklarını modelleyen bilgisayar programlarından yapılan tahminlerle oluşturulmaktadır. ABD NFRC programı, Kanada ER, ve Avustralya WERS pencere enerji derecelendirme sistemleri pencereleri kesin bir ölçekte değil karşılaştırılabilir bir ölçekte sıralamayı amaçlamaktadırlar. Farklı pencere seçeneklerinden oluşan bir setin ısıtma ya da soğutma sıralaması referans binaya ait özellikler olan, yalıtım ve sızdırmazlık düzeyi,

içsel kazançlar, yönlenme, ısıtma-soğutma sistemi ve iklim koşulları gibi faktörler çerçevesinde belirlenmektedir.

Ülkeler enerji derecelendirme sistemlerinde ısıtma ve soğutma için ayrı derecelendirme yapılmaktadır. Pencerenin ısıtma (ya da soğutma) derecelendirmesine yönelik sıralama binanın bulunduğu bölgenin iklim koşullarına, ısıtma veya soğutma gerektiren dönemin uzunluğuna bağlıdır.

3.2.1. Amerika NFRC pencere derecelendirme sistemi

ABD'de pencerelerin enerji derecelendirme sistemi, NFRC tarafından geliştirilen, ASHRAE standard iklim koşullarında binaların pencere, kapı ve çatı pencereleri için gerçekleştirilen bağımsız ulusal enerji derecelendirme sistemidir. Mevcut sistemde, akredite edilmiş laboratuarlar tarafından gerçekleştirilen testler ya da simülasyon programları yardımıyla 3 temel performans kriteri saptanmıştır. Bu kriterler, pencerenin ısı geçirme katsayısı-(U değeri), güneş ısısı kazanç katsayısı (SHGC) ve hava sızdırmazlık düzeyi (L)'dir.

NFRC hemen bütün derecelendirme işlemlerinde ucuz, hızlı bir yöntem olması nedeniyle, simülasyon programlarını kullanmaktadır. Pencerelerin enerji performansları Windows 5.2, Optics 5.2, Therm 5.0, Frame 5.0, yazılımları yardımıyla modellenmektedir. Farklı eyaletlerde Bina Enerji Kodları pencerelerin NFRC etiketi taşımasını ön şart koşmuştur. Pek çok bölgede binalarda kullanılan yeni pencerelerin üzerinde yer alan NFRC etiketli ile pencerenin performansına yönelik değerleri belirtmekte, ancak yönlendirmede bulunmamaktadır.

NFRC konut binalarında pencerelerin yıllık enerji performanslarının etüdüne yönelik, kullanıcı tarafından anlaşılması kolay olan yıllık enerji derecelendirme sistemini geliştirmiştir.Yıllık enerji derecelendirme sistemi prosedürü, NFRC 900, LBL tarafından gerçekleştirilen RESFEN 5.0 yazılımı

ile 0-10 arasında ölçeklendirilen ısıtma (HR) ve soğutma (CR) için olmak üzere iki temel değere dayanmaktadır. Bu sistem kullanıcıların farklı iklim bölgelerinde tasarlanan konut binaları için pencere tiplerinin performanslarını kolaylıkla karşılaştırabilmelerini, doğru tercihler yapmalarını sağlamayı hedeflemektedir. Derecelendirmeye yönelik hesaplamalar referans bina tipi için, Amerika ve Kanada'daki yerleşimler için ayrı ayrı yapılmış, sonuçlar tablolaştırılmıştır [Shah ve Curcija, 2001].

ABD'de bölgesel enerji kurallarının temelini oluşturan 1995'den beri geliştirilmekte olan Ulusal Model Enerji Kodları, NFRC onaylı U değerlerinin ve güneş ısısı kazanç katsayısının standardlarda belirtilen kurallara uyumlu olmasını istemektedir. Model Enerji Kodu'nun yerini almış olan Uluslararası Enerji Kodu ve ASHRAE Standardı 90.1 (1999) tüm mevcut NFRC göstergelerini kapsamaktadır. Endüstri ortaklığı vasıtasıyla ABD DOE, endüstri tarafından kullanılacak araştırma araçlarının tanımlanması için pencere endüstrisi teknoloji yol haritası programını (Window Industry Technology Road Map) geliştirmiştir. ABD DOE, ayrıca enerji verimliliğine sahip pencere işbirliği kurumunun kurulması için destekte bulunarak enerji verimli pencerelerin tasarlanması, performanslarının denetlenmesine yönelik çalışmalar yürütmektedir [Shah ve Curcija, 2001].

ABD Enerji Bakanlığı ve Çevre Koruma Kurumu (EPA), belli enerji performans kriterlerine uyan pencerelerin özel bir amblem taşımaya hak kazandıkları enerji yıldızlı pencere (Energy Star Window) programını oluşturmuştur.

3.2.2. Kanada enerji derecelendirme sistemi (ER)

Kanada'nın Enerji derecelendirme sistemi (ER) Kanada ikliminde konut binalarında ısıtma gerektiren dönemin dominant olması nedeniyle, pencerelerin özellikle ısıtma performansını değerlendirmeyi hedeflemektedir. İlgili standard olan CSA A440.2 (1998)'de soğutma için hesaplama yöntemi

bulunmasına karşın yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Derecelendirme sisteminde NFRC sisteminde olduğu gibi öncelikle FRAME 5.0, Vision 5.0 yazılımları kullanılarak performans göstergeleri hesaplanmaktadır. ER, NFRC ısıtma derecelendirme sisteminde olduğu gibi, iklim bölgelerine göre değişen güneş enerjisi miktarını, dış ortam sıcaklıklarını ve pencerenin sızdırmazlık düzeyini dikkate almaktadır.

Pencerelerin büyük çoğunluğuna ait performans değerleri, yazılım yardımı ile hesaplanmaktadır. Bunun yanında, ER gelişmiş pencere bileşenlerinin (örneğin cam tabakaları arasında jaluziler bulunan çift camlar) performanslarını fiziksel test yöntemiyle sıralama seçeneği sunmaktadır [Lyons 1999; Carpenter,1998]

3.2.3. Avustralya pencere enerji derecelendirme sistemi (WERS)

Avustralya-Asya Pencere Kurulu yapı ve işleyiş mekanizması olarak Amerikan Ulusal Pencere Derecelendirme Kurulu (NFRC) benzer yapıya sahip bir kuruluş olup, Avustralya pencere enerji derecelendirme sistemi (WERS) konut pencerelerinin enerji performanslarını ABD NFRC 900 ve Kanada'daki ER sistemine benzer biçimin yaptığı şekilde derecelendirmekte ve sınıflandırmaktadır. Avustralya ve Yeni Zelanda da ısıtma ve soğutma gerektiren dönemlerin dominant olduğu farklı iklim bölgeleri bulunmaktadır.

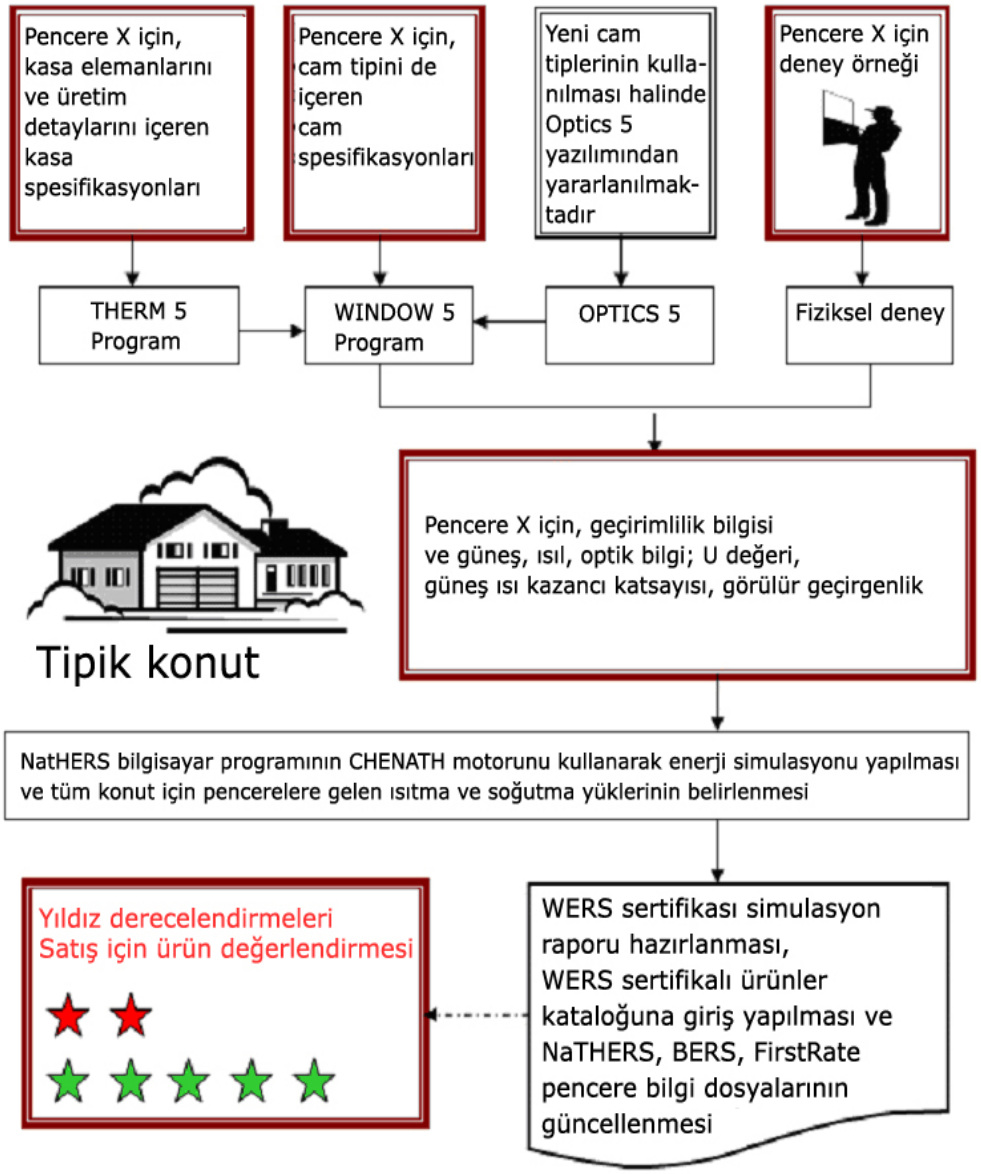
Bu nedenle pencere enerji derecelendirme sistemi (WERS) esnek olarak kurgulanmıştır. Pencere enerji derecelendirme sistemi (WERS) U (ısı geçirme katsayısı) faktörü, güneş ısısı kazanç katsayısı değerleri için onay belgeli derecelendirme olanağı sunmaktadır. Performans göstergeleri ifade edilmekte, ardından pencerelerin tümünün performanslarını analiz etmek için WINDOW 5.2 Optics 5.2 ve FRAME-plus paket programları kullanılmaktadır.

Pencere enerji derecelendirme sistemi (WERS) önceden standard derecelendirmelerini Avustralya'nın iklim koşullarını kullanarak hesaplamaktaydı. Yakın zamanda da, Kuzey Amerika ile uyumluluk sağlayabilmek amacıyla Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Odası (ASHRAE) iklim koşullarını kullanmak üzere çalışmalar yürütmektedir. Amerikan Ulusal Pencere Derecelendirme Konseyi (NFRC) sisteminde olduğu gibi, pencere enerji derecelendirme sisteminde de (WERS) değerler, saatlik iklim verilerine dayanmaktadır.

Pencere enerji derecelendirme sistemi (WERS) daha iyi ısıtma ve soğutma performanslarını temsil eden derecelendirmeler ile, derecelendirmelerini tek yıldızdan beş yıldıza kadar giden bir ölçüm yöntemi ile gerçekleştirir. Derecelendirmelerde, incelenen pencerenin performansı, ısı tutucu içermeyen alüminyum çerçeveli, tek tabakalı düz camlı referans pencere tipiyle kıyaslanmaktadır. Her pencere için yıllık ısıtma ve soğutma enerjisinde meydana gelen göreli performans artışı belirlenmektedir. Isıtma klasmanında, tek yıldız alan tek camlı, alüminyum çerçeveli pencereden, beş yıldız alan çift camlı, Low-E kaplama ve argon gazı dolgusu içeren ahşap çerçeveli pencereye kadar pek çok pencere alternatifi yer alırken, soğutma klasmanında ise, tek yıldız alan saydam tek camlı, alüminyum çerveli pencereden, beş yıldız alan çift camlı, güneş ışınımının farklı dalga boylarına karşı davranışı açısından seçici özellik taşıyan seçici geçirgen cam ve ahşap çerçeveli pencerelere kadar pek çok pencere tipi bulunmaktadır. Klasman dışı kalan ve beşten fazla yıldız hak eden pencereler de mevcuttur. WERS derecelendirme sisteminde, referans binaya ait pencerelerin enerji performansları, Avustralya'daki tipik tek katlı bir evin model olarak alınması ve bölgesel iklim verilerinin hesaplamalara dahil edilmesi suretiyle NatHERS yazılımı kullanılarak değerlendirilmektedir. ABD ve Kanada'dan farklı olarak Avustralya'da prosedürler, ısıtma ve soğutma rakamları direkt simülasyon yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Isıtma ve soğutma göstergeleri ve bunlardan çıkarılan yıldızlar her durumda U faktörünü ve güneş ısısı kazanç

katsayısını hesaba katmaktadırlar. Avustralya WERS sisteminin şematik kurgusu Şekil 3.1 de gösterilmektedir.

Sonuçta, derecelendirme sistemi kullanıcıya doğru tercihi yapabilmesi için sağlam öneriler sunmaya çalışmakla birlikte, zorunluluk içermemektedir. Spesifik olarak belli bir konut binası için pencerelerin enerji performansının analizinde LBL-RESFEN 5.0 ve NatHERS yazılımları kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Avustralya pencere enerji derecelendirme sisteminin şematik kurgusu [Lyons,1999]

3.2.4. Avrupa pencere enerji derecelendirme sistemi (EWERS)

Avrupa'da Cam Endüstrisi Komitesi, Committee of Glass Industries, CPIV tarafından 1995 ve 2000 yıllarında gerçekleştirilen araştırmada Avrupa birliğine üye 15 ülkede konut yapılarının yaklaşık % 60'ının pencerelerinin tek tabakalı düz camdan oluştuğu, camlı yüzeylerden gerçekleşen ısı kayıpları ve aşırı ısı kazancının, binaların enerji tüketimini önemli ölçüde arttırdığı, fosil tabanlı yakıtların çevreye verdiği CO_2 emisyonlarının çevre açısından büyük tehlike teşkil ettikleri belirlenmiştir. Konut binalarında kullanılan camların U değerlerinin ortalama değeri olan 5,7 W/m^2K den, 2,9 W/m^2K e düşürülmesi, yıllık 1,115 MGJ (milyon gigajule) enerjinin tasarruf edilmesini, 26 milyon ton petrolün daha az kullanılmasını, çevreye verilen yıllık CO_2 emisyonunun 82 milyon ton azalmasını sağlamaktadır [Avasoo, 2001].

Avrupa'da 2000-2003 yıllarında AB V. Çerçeve programı kapsamında 8 AB üyesi ülkenin (İngiltere, İsveç, Danimarka, Finlandiya, İtalya, Almanya, Hollanda, Norveç) katılımı ile SAVE–EWERS (European Window Energy Rating System, Avrupa Genelinde Pencere Enerji Derecelendirme Sistemi) projesi geliştirilmiştir. Bu amaçla ülkelerin konuya yönelik enstitü, kuruluş, üniversiteleri işbirliği ile önce konferanslar (Helsinki 2000, Londra 2000), sonra da araştırma projeleri gerçekleştirilmiş, proje raporları halinde sunulmuştur.

Proje üye ülkelerde yapı sektöründe pencerelerin yıllık enerji tüketim profillerinin saptanması, elektrikli ev eşyaları sektöründe olduğu gibi, performans değerlerinin etiketleme yöntemi ile ürünün üzerinde belirtilerek, kullanıcıların enerji açısından bilinçli tercihler yapabilmelerinin sağlanması, tasarımcı ve uygulayıcı mimarlar, mühendisler ve yapı sektöründe yetkili kişilerin doğru tercihler yapabilmesine olanak tanımaktadır. Avrupa genelinde üretilen pencere ve bileşenlerinin enerji performansı açısından birbirine göreli olarak değerlendirilebilmesinin sağlanması, kullanılan ürünlerin enerji performanslarının standardlar ve bağımsız değerlendirme kuruluşlarının

konrolünde, denetlenerek ürün kalitesini arttırılması, sektördeki firmaların rekabetinin arttırılarak, ülke ekonomilerine katkı sağlanması Avrupa Pencere Enerji Derecelendirme Sisteminin (EWERS) hedefleri arasında yer almaktadır [Avasoo,2002].

EWERS projesi 3 etaptan oluşmaktadır.

1. Etap- Pencerelerin enerji performans göstergelerinin saptanması: EN, CEN, ISO standardları kapsamında, Avrupa genelinde bileşen ve pencere ölçeğinde bina tipi, ısıtma ve/veya soğutma yükleri ve iklim koşullarından bağımsız olarak, enerji performans göstergelerinin belirlenmesi, farklı pencere bileşenlerinin performansını değerlendiren bir veri tabanı oluşturulması.

2. Etap- Pencerelerin enerji performanslarının saptanması: alçak katlı konut binalarında pencerelerin ısıtma gerektiren dönem boyunca, farklı ülkelerin iklim koşullarına göre enerji performanslarının belirlenmesi, A-G'ye derecelendirme yapılması.

3. Etap Performans sonuçlarının sunumu ve yayınlanması: pencerelerin enerji performansına yönelik elde edilen verilerin geniş kitlelere ulaştırılabilmesi, yapı sektöründe kullanılmasına yönelik sunum ve yayınların bütününü kapsamaktadır.

Proje final raporunda, pencerelerin farklı iklim koşullarında enerji performanslarının değişeceği, bu nedenle iklime uygun pencere seçimi yapılmasının gerekliliği üzerinde fikir birliğine varılırken, ülkelerin pazar dinamiklerinin farklı oluşu ve derecelendirme sisteminde kullanılan hesaplama yönteminin gelişmişlik düzeyi üzerinde fikir birliğine varılamaması nedeniyle, proje uygulamaya aktarılamamıştır.

3.3. Pencerelerin Enerji Derecelendirme Sistemlerinin Belirtilmesine Yönelik Etiketleme Sistemleri

Pencerenin enerji derecelendirme sistemi, ürün üzerinde etiketleme yöntemi ile belirtilmektedir. Dünyada mevcut üç temel etiketleme yöntemi bulunmaktadır [Avasoo, 2002]. Bu yöntemler:

- Ürünün Standardlara Uygunluğunu Onaylayan Etiketleme (endorsement labels),
- Ürünün Performansının Karşılaştırılmasına Yönelik Etiketleme (comparative labels)
- Ürün Performans Özelliklerine Yönelik Bilgilendirici Etiketleme (informative labels) sistemleridir.

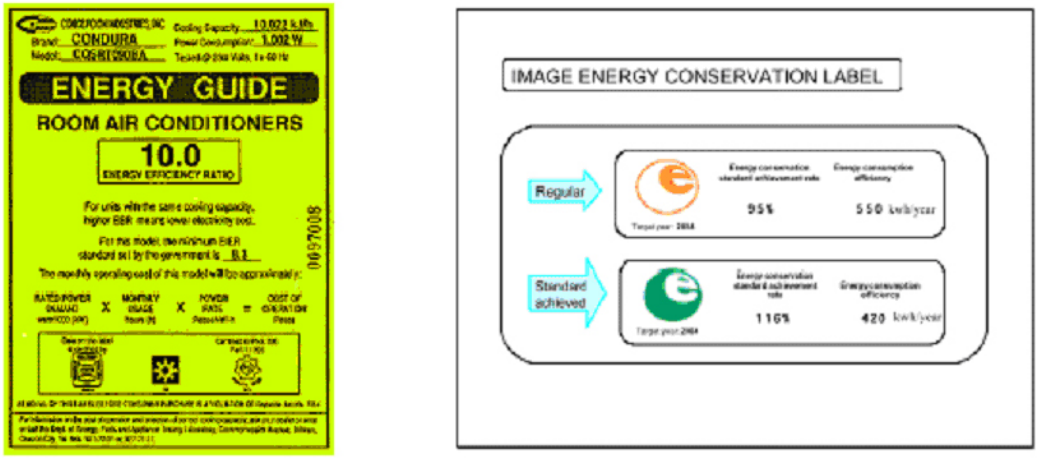
3.3.1. Ürünün standardlara uygunluğunu onaylayan etiketleme

Ürünün standardlara uygunluğunu onaylayan etiketleme (endorsement labels) sistemleri, standardlar tarafından belirlenen performans kriterlerinin bağımsız kuruluşlar tarafından test edilip onaylandığını göstermekte olup, sadece kriterleri karşılayan ürünler onay alabilmekte herhangi bir karşılaştırma içermemektedir (Şekil 3.2).

Şekil 3.2. Ürünün standardlara uygunluğunu onaylayan etiketleme [Avasoo, 2002]

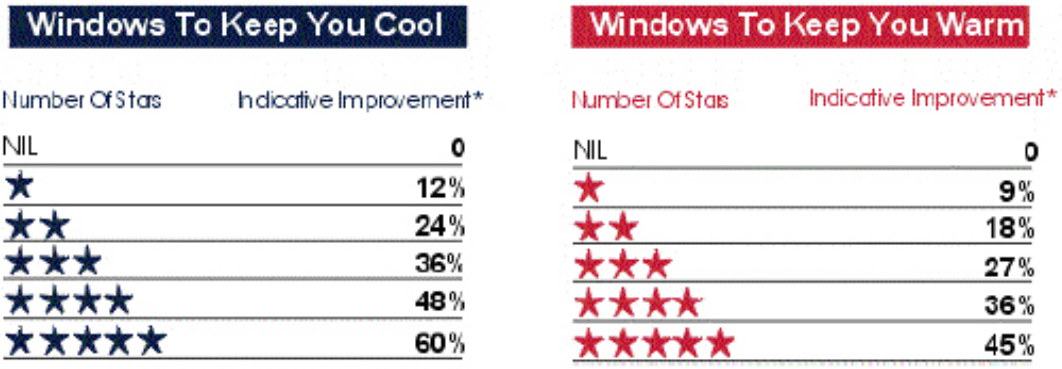
3.3.2. Ürünün performansının karşılaştırılmasına yönelik etiketleme

Ürünün performansının karşılaştırılmasına yönelik etiketleme sisteminde (comparative labels), kullanıcıların, performansları incelenen ürün seçeneklerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmelerine ve buna bağlı olarak seçebilmelerine olanak tanımaktadır. Ürünlerin karşılaştırılmasında yıllık enerji tüketim miktarı göz önünde bulundurulmaktadır (Şekil 3.3, Şekil 3.4).



a- Filipinlerde Yapay İklimlendirme İçin Etiketlendirme b- Japon Top Runner Etiketlendirme Sistemi

Şekil 3.3. Ürün performans özelliklerine yönelik etiketleme, a-Filipinlerde yapay iklimlendirme için etiketleme b-Japon Top Runner etiketmeleme sistemi [Avasoo, 2002]



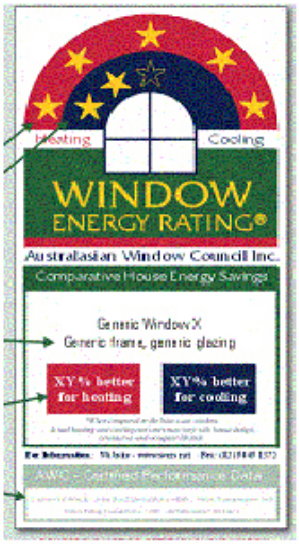
Şekil 3.4. Yeni Zelanda kış -yaz koşulları için derecelendirme sistemi ürün performans özelliklerine yönelik etiketleme [Avasoo, 2002]

3.3.3. Ürün performans özelliklerine yönelik bilgilendirici etiketleme

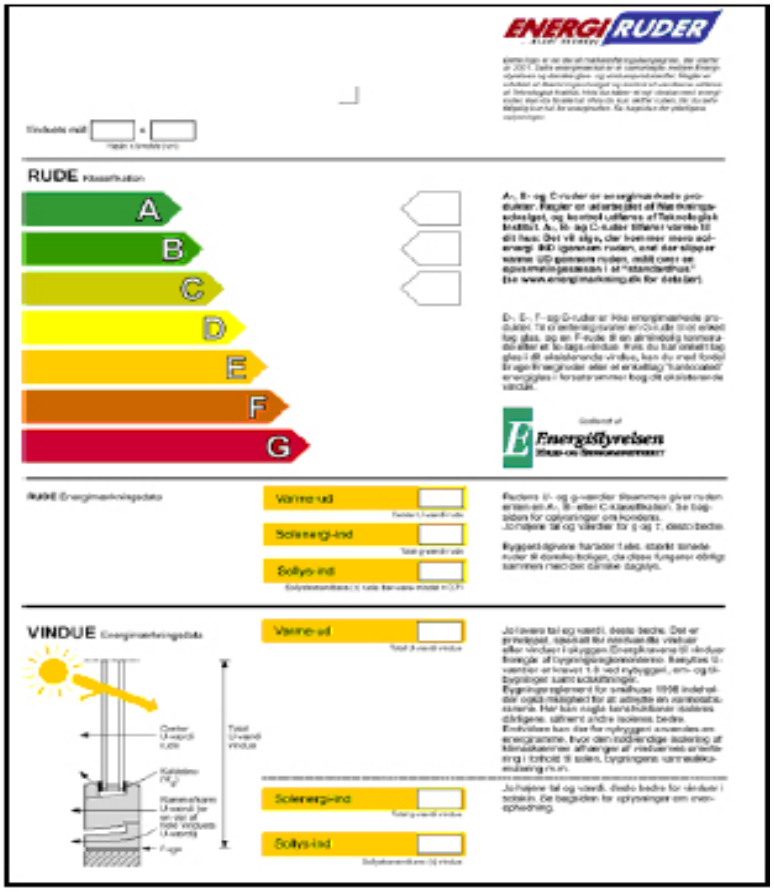
Bilgilendirmeye yönelik etiketleme sisteminde, her ürünün enerji performansına ait teknik veriler, ürünün üzerinde belirtilmektedir. Kullanıcı açısından değerlendirilmesi ve farklı ürünlerin performanslarının karşılaştırılması açısından güç bir yöntemdir. Amerika'da NFRC tarafından gerçekleştirilen etiketleme sistemi, Avustralya WERS etiketleme sistemi bu tipe örnek olarak gösterilebilir (Şekil 3.5, Şekil 3.6). Avrupa ülkelerindeki A-G 'ye derecelendirmeye yönelik etiketleme çalışmaları da yine bu tip etiketleme sistemi içermektedir (Şekil 3.7).

Şekil 3.5. NFRC etiketleme sistemi, Amerika [Avasoo, 2002]

Isıtma Bandı: Pencerelerin sıcaklığı içeride tutmak için kullanıldığı yerlerde
Soğutma Bandı: Pencerelerin sıcaklığı dışarıda tutmak için kullanıldığı yerlerde



Şekil 3.6 Avustralya için derecelendirme sistemi [Avasoo, 2002]



Şekil 3.7 Danimarka pencereler için etiketleme sistemi, [Avasoo,2002]

4. PENCERELERİN ENERJİ PERFORMANSININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK PERFORMANS KRİTERLERİ, İLGİLİ STANDARDLAR VE YAZILIM PROGRAMLARI

4.1. Pencerelerin Enerji Performansının Belirlenmesine Yönelik Performans Kriterleri

Pencerelerin enerji performansının belirlenmesine yönelik çalışmalarda, öncelikle performans kritelerlerinin belirlenmesi ve hesaplanması gerekmektedir. Pencere bileşenlerinin ısıl performanslarının değerlendirilebilmesi için, şeffaf (camlar) ve opak (çerçeve) bileşenlerin güneş ışınımına karşı davranışlarının, pencerelerden ısı transferine ait temel ilke ve kavramların bilinmesi gerekmektedir.

Bir binada sızdırmazlığın sağlandığı, doğal havalandırmanın hesaplamalara dahil edilmediği koşullarda, pencerenin ısıl performansını, ısı kayıp ve kazanç mekanizmaları belirlemektedir. Isıl performans düzeyi, iç-dış ortam sıcaklıkları, güneş ışınımı miktarı, camlı sistemi oluşturan opak ve şeffaf bileşenlerin termofiziksel, optik ve sızdırmazlık v.b. özelliklerine, bulunulan bölgenin iklimsel koşullarına (güneş ışınımı şiddeti, dış ortam sıcaklıkları, ısıtma ve soğutma dönemi uzunluğuna) bağlı olarak değişmektedir [Ayçam, 1998].

Pencerelerin ısıl performanslarının değerlendirilmesinde, en sık başvurulan performans göstergeleri:

- Isı korunum düzeyi, (U_o)
- Güneşten ısı kazancı sağlama-güneş kontrolü düzeyi, (g $SHGC_{pencere}$)
- Güneş kontrolü yaparken gün ışığı yeterliliğinin sağlanması
- Pencerenin sızdırmazlık düzeyidir.

Pencerenin Ortalama Isı Geçirme Katsayısı: (U_o, W/m^2K): Pencere bileşenlerinin ortalama ısı geçirme katsayısı olan U_o değeri, pencereyi oluşturan opak ve şeffaf bileşenlerin alana bağlı olarak hesaplanan, birim alan için kondüksiyon, konveksiyon ve ışıma yolları ile ısı transferi miktarını belirtir. Bu değer pencerenin ısı geçirme direncinin tersidir, yani $U_o = 1/R$'dir. U_o değeri düştükçe ısı transferi miktarı azalır. Pencerenin ısı korunum düzeyi artar. Pencere bileşenlerinin ortalama ısı geçirme katsayısı olan U_0 değerinin hesaplanması EK-1'de verilmektedir.

Güneş Isısı Kazanç Katsayısı (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC, $g_{pencere}$): Pencerenin güneş ışınımına karşı güneş kontrolü veya ısı kazancı açısından performansına yönelik hassas değerlendirmelerde kullanılır. $g_{pencere}$ değeri cam tarafından iç ortama geçirilen ısı enerjisi ile çerçeve ve cam tarafından soğurulduktan sonra iç ortama verilen ısı enerjisi miktarlarının toplamıdır, tüm pencerenin güneş ışınımına karşı performansını belirler. Bu değerler salt cam veya salt çerçeve için de hesaplanabilmektedir. g_{cam} değeri camlı yüzeyin, performansının etüdünde kullanılır. Camların güneşten ısı kazançları açısından performanslarının değerlendirilmesinde son yıllarda önem kazanan bu değer, camın soğurma (a) ve geçirgenlik (t) değerlerine, güneş ışınımının geliş açısına (θ'ya) göre değişim göstermektedir. Güneşten ısı kazancı sağlamak açısından g değeri yüksek olan cam tipleri tercih edilmelidir. Güneş kontrolü açısından ise, g değerinin düşük olması gereklidir. Camların güneş ışınımına karşı performansının belirlenmesinde, referans cam tipine oranlanarak dolaylı performans etüdünün yapılması, yüzeye etkiyen güneş ışınımının şiddetine ve geliş açısına göre değişim gösteren, $g_{pencere}$, g_{cam} ($SHGC_{pencere}$, $SHGC_{cam}$) değerinin kullanılması gerekmektedir [Ayçam, 1998]. Camlı yüzeylerden ısı kazancının hesaplanması EK-1'de verilmektedir.

Serinlik Indeksi (Coolness Index-Dx,): Güneş kontrolü amaçlı camlarda doğal aydınlatma düzeyinin yeterliliğini kontrol için kullanılır. Şeffaf yüzeyin ışık, yani görülebilir alan ışınım geçirgenliğinin (T vis), gölgeleme katsayısına (SC) oranıdır (Dx= Tvis/SC). Düz camın Dx değeri 1,0 olup, günışığı yeterliliği için

sınır değerdir [ASHRAE, 1997]. Camın rengi koyulaştıkça görülebilir alan geçirgenliği azalır, kısadalga kızılötesi ışınım geçirgenliği sabit kalır. Dx değeri 1,0 'in altına iner. Performansı yüksek olan camlarda bu değer 1,25-2,0 arasında değişmektedir. Bu değer özellikle Amerika'da güneş kontrolüne yönelik uygulamalarda kullanılmakta, Avrupa'da akademik çalışmalarda belirtilmekte, ancak Avrupa standardlarında yer almamaktadır [Karlsson, 2001; Hübe 2001; Roos, 2000].

Pencerenin Sızdırmazlık Düzeyi (L): Pencerenin iç dış ortam arasında 50 Pa basınç farkı olduğu koşullardaki infiltrasyon oranını belirtmektedir. Amerika ve Kanada standardlarında basınç farkı 75 Pa olarak alınmaktadır [Lowe, 1999, Hemmila, 2005; Carpenter, 1998].

4.2. Avrupa Birliği Ülkelerinde Mevcut Standardlar

Doktora çalışmasının çerçevesi kapsamında Türkiye'de konut binaları için, pencerelerin ısıtma gerektiren dönemde enerji performanslarının derecelendirmesi hedeflenmekte, Avrupa'da bu alanda yürütülen çalışmalara (hesaplama yöntemi, ürünlerin performansının değerlendirilmesi) adaptasyonun sağlanması, Türkiye'de konuya ilişkin standard olan TS 825'in Avrupa standardları ve derecelendirme sistemleri ile entegrasyonunun sağlanmasına çalışılmaktadır. Bu nedenle, öncelikli olarak Avrupa Birliği'nde geçerli olan standardlar değerlendirilmiştir.

2002/92/EC No'lu Avrupa Bina Enerji Performans Direktifi (European Energy Directive-EEBPD, 2003) ve paralel çalışmalar kapsamında günümüzde AB üye ülkeleri, binaların ve pencerelerin ısıl performansının arttırılmasına yönelik standard ve hesaplama yöntemlerini geliştirmekte ve güncellemektedir.

"Binaların Enerji Performansı" EU yönergesi (2002/92/EC, European Energy Performance Directive- EEBPD, 2003) üye ülkenin, binanın toplam enerji

performansının hesaplanması için bir standard metodoloji oluşturmasını ve bina yönetmeliklerini bu metodolojiye göre belirlenmiş enerji hedeflerine dayandırmasını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle standardlarda bileşen bazında değil, bina totalinde hesaplama ve değerlendirme yapılmasına yönelik çalışmalar yürütülmektedir [Wilberforce, 2005].

Avrupa genelinde standardlar incelendiğinde, performans değerlendirmesinin pencerenin ısı geçirme katsayısı ile sınırlı olduğu, güneşten ısı kazançlarının performansa etkisini etüd eden standardlara yönelik çalışmaların devam ettiği gözlemlenmektedir. 2007 yılında zorunlu standard olarak devreye girmesi söz konusu olan EN 13790 (2004) konut binalarının ısıtılması ve soğutulmasında pasif güneş kazançlarını da hesaplara katmaktadır. Konut binalarında ısıtma gerektiren dönem için pencereden gerçekleşen ısı transferine, EN ISO 14438 (2002) standardında değinilmiştir. Bu standard güneşten ısı kazancını, ısıtma gerektiren dönem uzunluğunu ve binada içsel ısı kazançlarının kullanım düzeyini hesaplamalara katmaktadır. Her iki standard da hesaplama yöntemini içermekte, ülkeleri pencerelerin net enerji transferi değerleri konusunda serbest bırakmaktadır. EN 13790'dan önce binaların ısıl performansının değerlendirilmesinde Avrupa'da zorunlu standard olan EN 832 (1998)'de kararlı hal koşullarında binanın özgül ısı kayıplarına değinmekte, ısıtma gerektiren dönem için, camlı yüzeylerden güneşten ısı kazancını, kazançların kullanım faktörünü hesaplamalara katmaktadır.

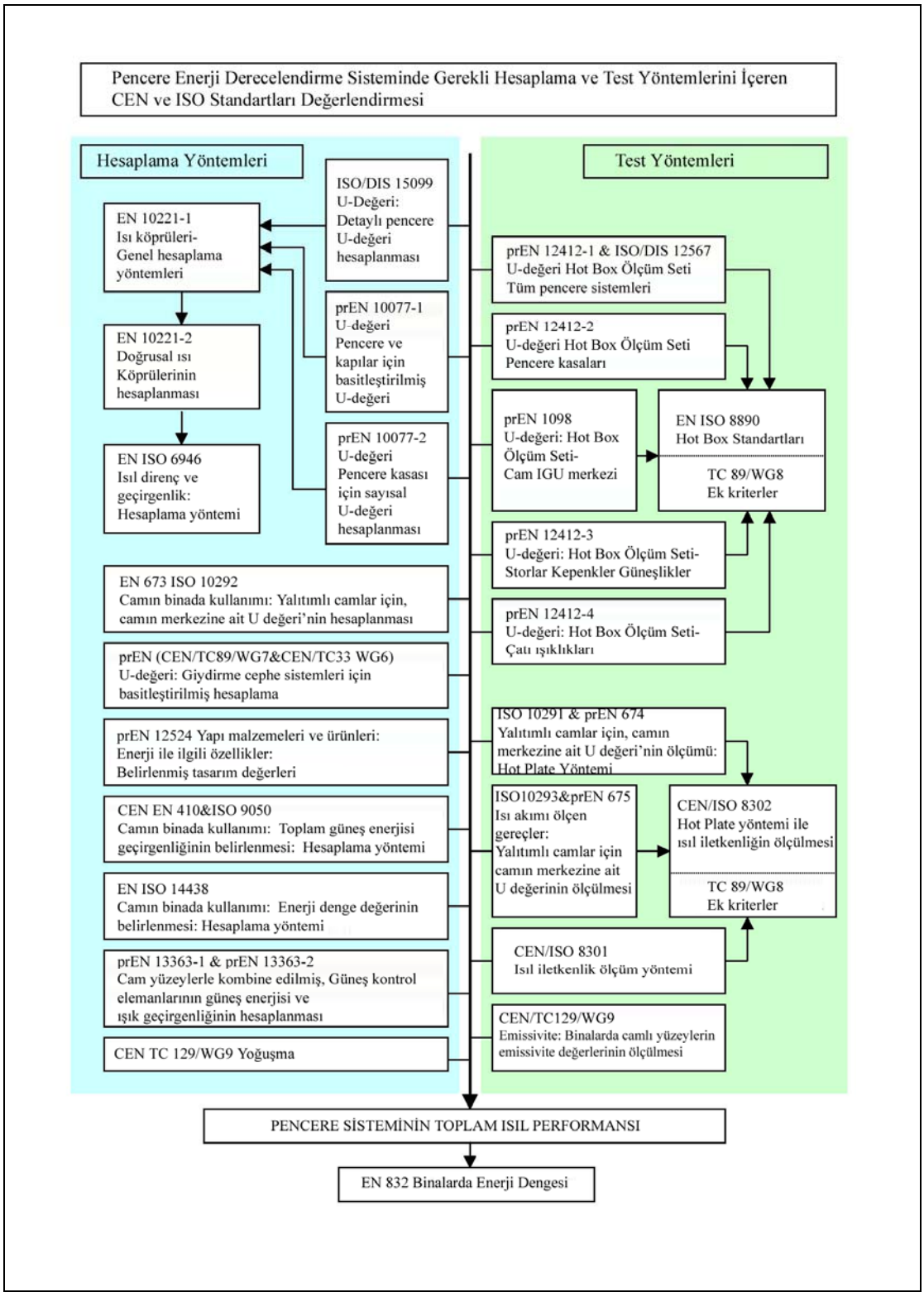
Türkiye'de konuya yönelik zorunlu standard olan TS 825 (2000), EN 832 (1998) de belirtilen hesaplama yöntemini baz almaktadır. Pencerelerin performans göstergelerinin hesaplanmasına ait standardlar Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de belirtilmektedir.

Ülkelerin standardları incelendiğinde pencerenin U değeri açısından ele alındığında ülkeler arasında farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir. Bazı ülkelerde, iklimsel bölgelere, bina tipine ya da iç ortam sıcaklık değerine bağlı olarak U değerleri değişmektedir [Wilberforce, 2005]. Ancak, yaygın olarak

genel U değerleri kullanılmaktadır. Çizelge 4.2'de AB üye ülkelerinde pencerelerin enerji performanslarına yönelik bina yönetmeliklerine ait mevcut durum özetlenmektedir.

Çizelge 4.1. Camlı yüzeylerin ısıl performans göstergelerine ait Avrupa'daki standardlar [Duer ve ark., 2002]

	Performans göstergesi	İlgili Standard
Camlı Yüzey	Camın merkezine ait ısı transfer katsayısının hesaplanması (U_{cam})	EN 673
	Camın merkezine ait gün ışığı geçirgenliği (T_{vis})	EN 410
	Camın merkezine ait güneş ısısı kazanç katsayısının hesaplanması (g_{cam})	EN 410
	Camın merkezine ait ısı transfer katsayısının hesaplanması	EN 673
Pencereler	Pencerenin alana bağlı olarak ısı transfer katsayısının hesaplanması ($U_{pencere}$)	prEN ISO 10077-1 prEN ISO 10077-2
	Pencerenin alana bağlı olarak gün ışığı geçirgenlik değerinin hesaplanması (T_{vis})	ISO DIS 15099
	Pencerenin alanına bağlı olarak güneş ısısı kazanç katsayısının hesaplanması ($g_{pencere}$)	ISO DIS 15099



Şekil 4.1. Avrupa'da pencerelerin ısıl performanslarının etüdünde kullanılan hesaplama ve test yöntemlerine ait standardlar [BFRC, 2000]

Çizelge 4.2 AB Ülkeleri yeni binalar için pencerelerin ısıl performansına ait bina yönetmelikleri [Wilberforce, 2005]

Ülke	Pencerenin Isı Geçirme Katsayısı (U W/M^{2}k)	Güncel Standard Uygulaması	Gelecek Gelişmeler
Avusturya	1,9	Low E çift cam ve argon gazı.	2005 yılına kadar ulusal bina kodlarının geliştirilmesi için çalışılmaktadır. (şu anda eyaletler kendileri karar vermektedir.).
Baltık Ülkeleri	-	Üçlü cam veya Low E çift cam.	Şu anda yönetmelikler yazılmakta olup, İsveç, Danimarka standardları ülke koşullarına göre adapte edilecektir.
Belçika	3,5 (Brüksel Bölgesinde 2,5)	Normal çift cam (Brüksel'de Low E çift cam).	Flaman bölgesi için U değerinin ≤ 2,0 yönelik çalışmalar devam etmektedir.
Danimarka	1,8	Low E çift cam.	Ocak 2006 dan itibaren yeni inşa edilenler için gereklilikler Toplam Enerji Performansına göre belirlenecektir.
Finlandiya	1,4	Üçlü (2+1), çoğunluğu Low E ve argon gazı ile.	
Fransa	Toplam Enerji Tüketimi, ısı geçirme katsayısı sınır değerleri (2,9, 2,2, 2,4) Ayrıca yazın güneş kazancını azaltmaya yönelik gereklilikleri kapsamaktadır.	Low E çift camın güncel uygulama olmasına sebep olan yeni yönetmelikler 2001 Haziranda uygulan-maya başlandı.	Devlet 2005 Aralık tarihinden itibaren ve her beş yılda bir yapılacak olan yeni gelişmeler için çalışmakta olup, yeni standardda güneş kontrolü ile ilgili gereklilikler de standarda dahil olacaktır.
Almanya	Hacimsel, ama düşük U değerleri	Low E çift cam ve argon gazı.	
Yunanistan	Kuzeyde 2,5 Güneyde 3,0	Çift cam, artan bir biçimde Low E' ye yöneliyor.	
İrlanda	2,2	Low-E (sert kaplama) çift cam	
İtalya	Hacimsel (Değişken)	Kuzeyde normal çift cam, güneyde tek cam	Yeni binalar ve değiştirilecek pencereler için (iklim bölgelerine göre). U değeri sınırları 2,4 ten 5,5e kadar değişmektedir.

Çizelge 4.2.(Devam) AB Ülkeleri yeni binalar için pencerelerin ısıl performansına ait bina yönetmelikleri [Wilberforce, 2005]

Lüksemburg	2,0	Low E çift cam	
Hollanda	Toplam Enerji Tüketimi (EPC), ısı geçirme katsayısı limitleri ile	Low E çift cam	Devlet tarafından U değerinin 1,2 ye düşürülmesi önerildi Standard yenilenecek.
Norveç	1,6	Low E çift cam ve argon gazı	2006 yılı için U 1,5 teklif edildi.
Polonya	2,6	Low E çift cam	U değerinin ≤ 2,0 yönelik çalışmalar devam ediyor.
Portekiz	Hacimsel	Çift cam	U değerinin mevcut standarda göre % 40 oranında azaltılması söz konusu. Daha soğuk iklimli bölgelerde çift cam+LowE uygulaması önerilmekte.
Rusya	1,8*	Low E çift cam veya üçlü düz cam	
Slovakya	2,0 (daha geniş binalar için)	Low E çift cam	
Slovenya	1,6		
İspanya	Hacimsel	Çift cam	Gereklilikler tekrar gözden geçiriliyor. standardlar 2005 yılında güncellenecek.
İsveç	Hacimsel	Üçlü cam, sık sık Low E ve argon gazı ile.	Parlemento'nun, 2005 yılında rapor vermek üzere binaların enerji performansını gözden geçirmesine 2002 yılında başlandı. Mevcut binalarla ilgili koşullarında olacağı geliştirilmiş yönetmeliklerin 2006 da sonuçlanması bekleniyor.
İsviçre	Hacimsel	Low E çift cam	-
İngiltere	Pencere U = 2,2 (metal pencereler) ve 2,0 (metal olmayan pencereler)	Low E (sert kaplama) çift cam	Devlet, yeni yönetmeliklerin temmuz 2005'te yayınlanacağını duyurdu.

*Bu değer Moskova içindir, Rusya'da U değeri derece-gün bölgelerine göre belirlenme, farklı bölgelerde farklı değerler elde edilmektedir. Rusya'daki U değeri hesaplama yöntemi CEN yöntemine göre daha sert koşullara ait sıcaklık farkları ve yüzeysel ısı iletim katsayısı değerlerini kapsar. Bu nedenle Rusya daki 1,8 olan U değeri CEN normuna göre U: 1,5 olan değere eşit kabul edilmektedir.

Çizelgede “Hacimsel” (Volumetric) kelimesinin yer aldığı yerlerde, yönetmelik pencere ısı geçirme katsayısını değil, tüm yapı kabuğu için toplam ısı kaybı şeklini tanımlamaktadır. Hollanda’da gereklilik toplam enerji tüketimi hesabına dayanır; enerji performans katsayısı (energy coefficient of performance, ECP) aydınlatma ve sıcak su için harcanan enerji miktarını da kapsamaktadır. Bazı Avrupa ülkelerinde (örneğin Hollanda, Almanya) yapı sektöründe inşaa edilen binalarda kullanılan pencerelerin performansları, standardlarda belirtilen değerlerden oldukça yüksektir. İncelenen ülkelerin çoğunluğunda binalarda üçlü cam ya da Low E kaplamalı çift cam yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bazı Avrupa ülkelerinde, yenileme yapılan mevcut binalarda pencerelerin enerji performansı açısından sağlaması gereken değerler Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3 AB Ülkeleri mevcut binalar için pencerelerin ısıl performanslarına ait bina yönetmelikleri [Wilberforce 2005]

Ülke	Pencerenin Isi Geçirme Katsayisi U (W/M^2k)	Şartlar
Danimarka	1,8	Değiştirilen herhangi bir pencere (Bina izni gerekli olduğunda geçerli değer)
Almanya	1,7 (tüm pencere için) 1,5 (cam)	Herhangi bir cephedeki pencerelerin % 20 si veya daha fazlası değiştirildiğinde.
Polonya	2,6	Değiştirilen herhangi bir pencere (ek şart yok).
İngiltere	2,2 (metal pencereler) 2,0 (metal olmayan pencereler)	Değiştirilen herhangi bir pencere (ek şart yok).
İrlanda	2,2	Konutlarda değiştirilen herhangi bir pencere (ek şart yok).
Hollanda	1,2 (cam)	Böyle bir yönetmelik yok ancak U ≤1,2 uygulaması için teşvik olarak $30/m^2$ € ödeniyor.

4.3. Türkiye'deki Mevcut Durum

Türkiye'de Haziran 2000 tarihinden itibaren Bayındırlık Bakanlığı Isı Yalıtım Yönetmeliği, TS 825 zorunlu hale gelmiştir. TS 825 (2000)'e ve TS 2164 (1983)'e ek olarak 2000 yılında düzeltilen değerler çerçevesinde, pencerelerin Türkiye Derece Gün Bölgeleri için sağlaması gereken U değerleri Çizelge 4.4'te belirtilmektedir.

Çizelge 4.4. Bayındırlık Bakanlığı Isı Yalıtım Yönetmeliği'ne göre TS 825 ve TS 2164 standardlarında belirtilen Türkiye Derece Gün Bölgelerinde pencerelerin sağlaması gereken U değerleri

U pencere (W/m2K)			
1. Derece Gün Bölgesi	2. Derece Gün Bölgesi	3. Derece Gün Bölgesi	4. Derece Gün Bölgesi
2,8	2,6	2,6	2,4

Bu değerler sadece pencerenin U değerleri olup, pencerelerin güneş ışınımına karşı davranışlarına ait bir sınırlama içermemektedir. Hesaplama yöntemi referans bina için, güneşten ısı kazançlarını, içsel ısı kazançlarını ve bu kazançların kullanım düzeyini (kazanç kullanım faktörü kapsamında) dikkate alması açısından olumlu olmakla birlikte, standard pencerelerin güneşten ısı kazançlarının bina performansına etkisini detaylı olarak ele almamaktadır. TS 825 gerekli ısıtma ve soğutma derece saat değerlerini, saatlik güneş enerjisi değerlerini, bulunulan bölgeye bağlı olarak değişen g değerlerini ve bu değere ait düzeltme faktörlerini hesaplamalara detaylı biçimde dahil etmemesi açısından eksik bulunmuştur. Şişecam verilerine göre (2005) Türkiye'de tüketilen enerjinin %34'ü konut binalarının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Piyasada yaygın olarak kullanılan tek tabakalı cam içeren, ahşap doğramalı bir pencerenin U değeri 5,6 W/m^2K iken, bu değer alüminyum ısı tutucu içermeyen pencereler için 7,0 W/m^2K e kadar artabilmektedir. Çift tabakalı ahşap çerçeveli pencere örnekleri ise yaklaşık

2,9 W/m^{2}K U değerine sahiptir (Bkz. EK-2 TS 2164, Tablo 6-A, 6-B). Dolayısı ile piyasada kullanılan pencere tiplerinin zorunlu standard olan TS 825'e uymadığı açıkça görülmektedir. 2000 yılında Bayındırlık Bakanlığı Isı Yalıtım Yönetmeliğinin ve TS 825'in zorunlu standard olması, uygulamalarda pencerelerin U değerlerinin daha düşük olmasını gerektirmektedir.

TS 825 de derece gün bölgeleri için pencerelerin sağlaması gereken U değerleri Avrupa ülkeleri ile karşılaştırıldığında, İtalya, Fransa ve Yunanistan haricinde diğer ülkelerde sağlanması gereken U değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Dört Derece Gün Bölgesinden oluşan Türkiye'nin özellikle soğuk iklim bölgesi olan dördüncü bölge için sağlaması gereken değerler, diğer ülkelerin oldukça gerisindedir. Türkiye'de pencerelerin U değerlerinin Avrupa ülkelerinin standardlarındaki düzeye düşürülmesi ve uygulamada yaptırımın sağlanması öncelikli olarak ele alınması gereken hususlardır.

4.4. Pencerelerin Enerji Performanslarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Bilgisayar Programları

Pencerelerin ve pencere bileşenlerinin enerji performansları ilgili standardlarda belirtilen hesaplama veya test yöntemleri yardımıyla değerlendirilmektedir. Performans analizlerinde günümüzde, hızlı, doğru ve maliyet açısından etkin çözümler olması nedeniyle bilgisayar programları tercih edilmekte, test çalışmaları ise kalite kontrol ve simülasyon çalışmasının doğruluğunun sağlanmasında kullanılmaktadır.

1980'li yıllarda pencerelerin enerji performans analizine yönelik LBL tarafından geliştirilen WINDOW 1.0 yazılımından günümüze kadar bu alanda pekçok yazılım geliştirilmiştir. 1989'da ABD ile Kanada'nın ortak olarak gerçekleştirdiği Pencere Performansları Araştırma Projesi test ile simülasyonun karşılaştırılması fırsatını yaratmış, simülasyon sonuçlarının test verilerinden daha hassas olduğunu kanıtlayarak, performans analizlerinde

programların kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır [Shah ve Curcija, 2001].

Günümüzde, Amerika ve Kanada'da THERM 5.2, WINDOW 5.2, OPTICS 5.2, ve RESFEN 5.0 en sık kullanılan yazılımlardır. Bu yazılımlar arasında RESFEN 5.0 konut binalarında Amerika ve Kanada iklim koşullarında performans analizi yapmakta, WINDOW 5.2, THERM 5.2, OPTICS pencere ve bileşenlerine ait performans göstergelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Avrupa genelinde RESFEN'e paralel şekilde pencerelerin bina totalinde analizini yapan bir program bulunmamaktadır. Öte yandan performans göstergelerinin hesaplanmasında, Avrupa'da yaygın kullanılan program TNO tarafından hazırlanan WIS yazılımıdır. WIS yazılımı kullanılarak elde edilen hesap sonuçları ile diğer programların kullanılması ile elde edilen sonuçlar arasında benzerlikler görülmektedir [Duer ve ark., 2002]. Duer, Svendsen'in 2000 yılında gerçekleştirdiği çalışmada farklı cam ve pencere tiplerinin enerji performansları farklı bilgisayar programları yardımı ile değerlendirilmiş, sonuçlar hot box test yöntemi ile kontrol edilmiştir. Çalışmada kullanılan programlar Çizelge 4.5'de, incelenen cam tiplerine ait özellikler Çizelge 4.6'da, cam tiplerinin farklı programlara göre analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmektedir.

Çizelge 4.5. Pencerelerin ısıl performansının analizinde kullanılan bilgisayar programları [Duer ve ark., 2002]

Program	Üretici Kuruluş/ Firma
WIS	TNO, Hollanda
WINDOW4.1	Lawrence Berkeley National Laboratory, Amerika
VISION4	Enermodal Engineering, Kanada
CALUMEN	Saint Gobain Cam Firması
GLAD99	EuroGlass
FRAME	Enermodal Engineering, Kanada
THERM2.0	Lawrence Berkeley National Laboratory, Amerika
WinIso	Sommer Informatik, Almanya

Çizelge 4.6. Programlar kullanılarak incelenen cam tiplerine ait özellikler [Duer ve ark., 2002]

Cam No:.	Cam tabakası sayısı	Kaplama Konumu	Gaz Tipi	Boşluk kalınlığı (mm)
1	2	3	1*	12
2	2	3	1*	12
3	2	2	1*	12
4	2	2+3	2*	12
5	2	2 + 3	1*	6
6	2	2 + 3	1*	12
7	2	2 + 3	1*	18
8	2	2 + 3	3*	12
9	3	2 + 5	1*	12
1* Hava/Argon, %10/90 2* %100 3* Hava/Kripton %10/90				

Çizelge 4.7. İlgili programlar kullanılarak camların merkezine ait U değerlerinin karşılaştırılması [Duer ve ark., 2002]

Cam No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Simülasyon Adı	U Değeri									Birim
WIS	1,64	1,26	1,46	1,59	1,99	1,24	1,09	1,02	0,77	[W/m²K]
WINDOW4.1	1,65	1,29	1,48	1,58	2,00	1,27	1,21	1,08	0,77	[W/m²K]
VISION4	1,65	1,28	1,47	1,60	1,97	1,26	1,19	1,05	0,77	[W/m²K]
CALUMEN	1,64	1,26	1,47	1,59	1,99	1,24	1,14	1,02	0,77	[W/m²K]
GLAD99	1,68	1,28	1,50	1,60	2,00	1,26	1,08	1,04	0,78	[W/m²K]
Ortalama	1,65	1,27	1,48	1,59	1,99	1,25	1,14	1,04	0,77	[W/m²K]

Çalışma farklı programlardan elde edilen sonuçları karşılaştırması açısından önemlidir. Genel olarak incelenen programlarla hesaplanan sonuçlar arasında yeterli bir istikrar vardır. Tablolardan anlaşıldığı üzere, hesaplanan ışık geçirimleri hesap programından bağımsızdır ve yine hesaplanan g değerleri +/-0,01 ortalama değerleri dahilindedir. U değeri hesaplamaları arasında da yeterli bir istikrar gözlemlenmektedir. Fakat Çizelge 4.7'de 7 no'lu cam ele alındığında farklı programlara ait U değeri hesaplarından elde edilen sonuçlar arasında belirgin sapmalar olması dikkati çekmektedir. Bu sapmalar uygulanan hesaplama modellerinden kaynaklanmaktadır. WIS,

CALUMEN ve GLAD99 programları CEN iklim koşullarında, EN 673'e uygun bir model uygularlarken, WINDOW4.1 ve VISION4 programları ASHRAE iklim koşullarına göre hesaplama yapan daha detaylı bir model uygularlar. Şu an için, ilgili ISO ve CEN çalışma gruplarında, kısmen değişik modellerin ortaya çıkardığı sonuçlar arasındaki farklılıklar incelenmek, kısmen de hangi modellerin gerçek koşulları en iyi şekilde temsil ettiğine dair incelemeler yapmak suretiyle analizler devam etmektedir. Konuya yönelik geçici sonuçlar, U değerinin hesaplanmasında EN 673 hesaplama yönteminin 12 mm üzerindeki cam mesafeleri ölçümlerine kıyasla çok düşük U değerleri verdiğini göstermekte olup, bu da Çizelge 4.7'deki sonuçlarla uyuşmaktadır [Duer ve ark., 2002].

Tez çalışması kapsamında pencerelerin ısıl performanslarına yönelik performans göstergeleri WIS-Advanced Window Information System Programı kullanılarak hesaplanmıştır. WIS AB üye ülkelerinde pencerelerin enerji performansıns yönelik çalışmalarda yaygın kullanılmakta, yeni versiyonları üretilmekte, araştırma kurumları ve enstitüleri tarafından desteklenmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında kullanımı tercih edilmiştir. WIS yazılımına ait temel özellikler aşağıda açıklanmaktadır.

4.4.1. WIS yazılımı

WIS, Avrupa Birliği Komisyonu (XII) Joule (1996-2002) programı dahilinde finanse edilen "Gelişmiş Pencere Bilgileri Sistemi" (Advanced Window System) projesi kapsamında, TNO Bouw, Hollanda, ERG (Energy Research Group, University College Dublin) İrlanda, DTU (Technical University of Denmark), *ISE (*Fraunhofer-Institut Solare Energiesysteme) Almanya tarafından geliştirmiş olan bir yazılımdır. Program Avrupa Standardlarına göre pencerenin optik, termofiziksel ve güneş ve aydınlatma özelliklerinin hesaplanmasına olanak tanımaktadır. Geleneksel cam sistemleri uygulamalarıyla beraber WIS ayrıca gölgeleme elemanları ve cam tabakaları arasındaki boşluğun havalandırılması gibi camlı yüzeylerin performanslarının

analizinde kompleks sistemlerin de hesaplanmasına olanak tanımaktadır [Van Dijk, D.,2002, 2003].

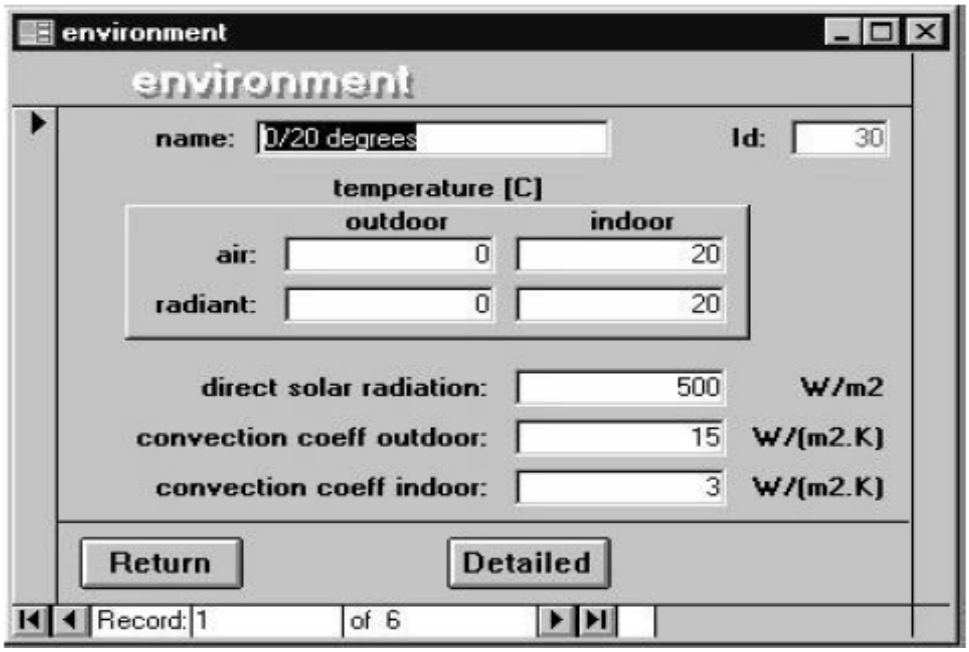
Tez çalışması kapsamında yazılımın tüm özelliklerinin açıklanması yerine sadece pencere enerji performansının derecelendirilmesinde kullanılan özellikler açıklanmakta olup; çalışma kapsamında gölgeleme elemanlarının ısıl modellemesinden, havalandırılan boşluğun performans analizinden, pencerelerden ve camlı yüzeyin açıdan bağımsız özelliklerinden bahsedilmemektedir.

WIS hesaplamaları, değişik standardlar ve işlemler kullanılarak yapılmaktadır. Avrupa genelinde hesaplamalarda CEN standardları baz alındığından (EN 673, EN 410, EN 10077-1, ISO 9050) program kurulumunda bu özelliğin işaretli olması gerekmektedir.

WIS, Windows işletim sistemi altında kullanıcıya kolaylık sağlayan bir ara yüz ile çalışır. Yazılımın temel biçimi altında pencere bileşenleri ve alt sistemleri modellenebilir ve ilgili hesaplama işlemleri gerçekleştirilebilir.

WIS, çevre özelliklerini, cam tabakalarını, camlı yüzeyleri, çerçeveleri ve birleşmiş camlara ait özellikleri içeren bir kütüphaneye sahiptir, buna bağlı olarak yazılım gereksinimlerine uygun olarak bu bileşenlere ait yani bilgilerin girilmesi mümkündür.

Programın ana bölümünden pencere bileşenleri bölümüne girilebilmektedir. Çevre bölümünde (Şekil 4.2) ilgili CEN standardlarına göre sınır değerler girilebilir. Bu özellik kapsamında göz önünde bulundurulması gereken durum, ısıl özelliklerinin iklimsel koşullara ait özelliklere bağlı olmasıdır ve ekstrem koşullarda ısıl geçirgenliğin ve güneş ısısı kazanç katsayısı değerlerinin standard koşullara göre daha farklı değerlere sahip olabilmesidir. Tez kapsamında hesaplamalar CEN standardlarında tanımlanan çevre sınır değerleri kullanılarak gerçekleştirilmelidir.



Şekil 4.2. WIS çevre koşulları

Camlı yüzey ürünün yapılandırılmasına cam tabakalarının geometrik ve termo-fiziksel özelliklerinden ve boşluğu dolduran gazdan başlanabilir. Maddelerin detaylarını açıklamak gerekirse cam tabakası aşağıdaki verileri kapsar:

- İmalatçı firma bilgileri (Programda info butonuna basıldığında imalatçı adını, kimliğini ve kapsamlı bir açıklamayı içeren bilgilendirici pencere ile karşılaşılmaktadır).

- Cam kalınlığı ve ısıl parametreleri (iletkenlik, ışınım geçirgenliği, düzeltilmiş dış mekân, iç mekân emissivite değerleri ve normal emissivite verisi girilebilir ve düzeltilmiş değer daha sonra program tarafından hesaplanmaktadır)

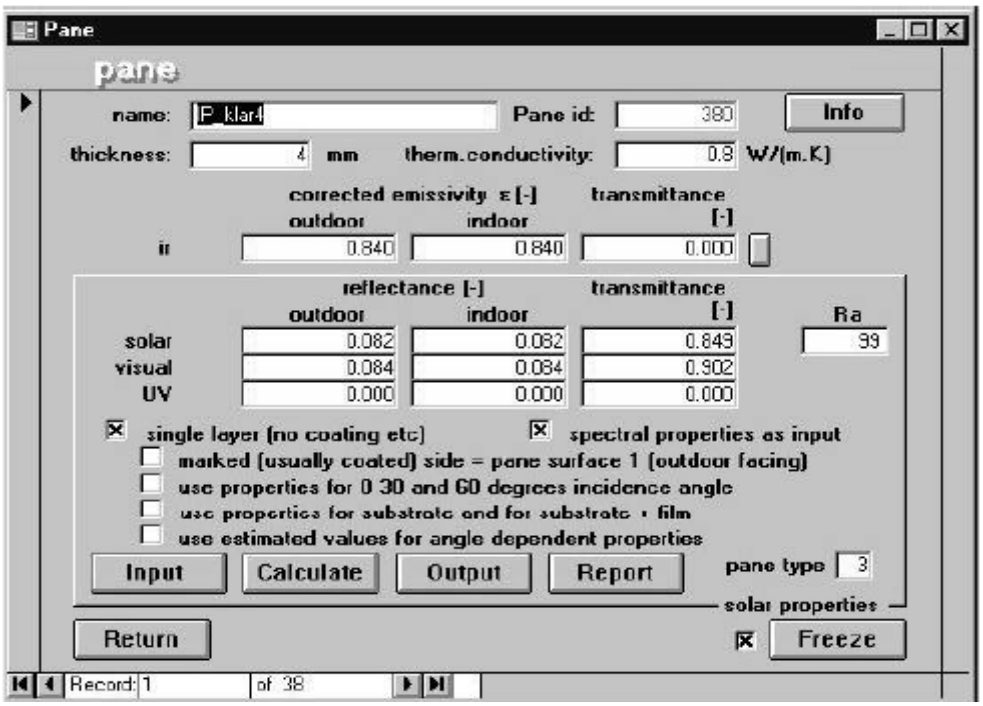
- Güneş ışınımına ait özellikler

Cam tabakasının cam yüzeyine dik olarak gelen güneş ışınımına ait özellikleri (geçirgenlik ve yansıma) camın güneş ışınımının farklı dalga boylarına ait

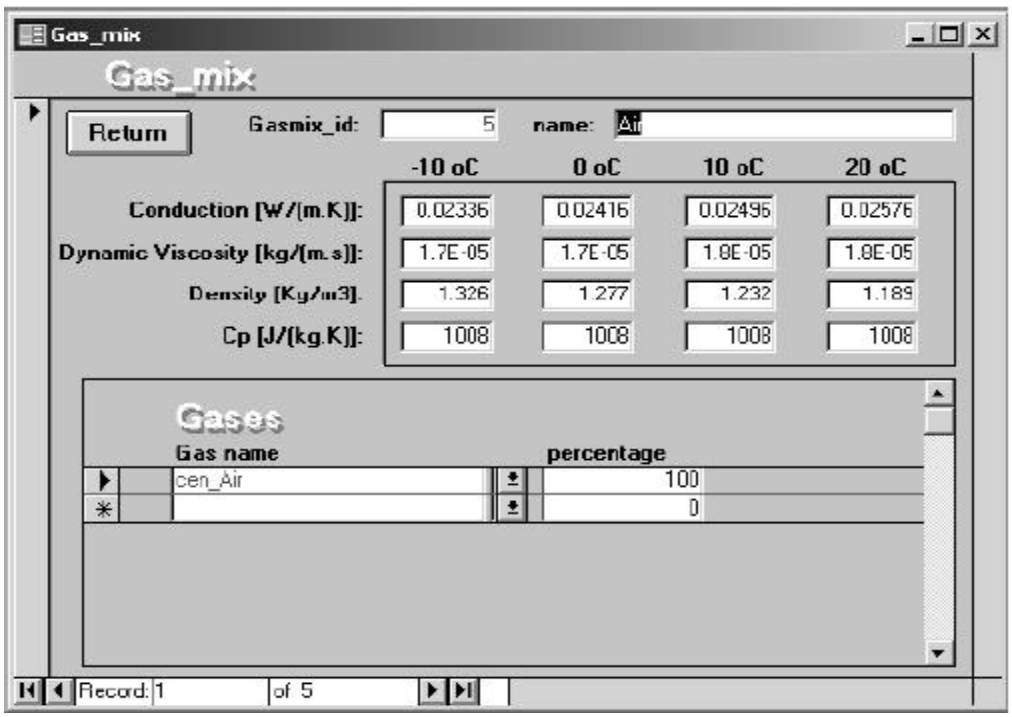
verileri girilerek veya UV, görsel ve güneş aralığı derecesine ait entegre değerleri girilerek eklenebilir (Şekil 4.3). Camın güneş ışınımının farklı dalga boylarına ait verileri mevcut bir dosyadan almak için özel bir bölüm çalıştırılabilir, ancak bazı işlemlere dikkat edilmesi gerekir. Alınan dosyanın, camın güneş ışınımının farklı dalga boylarına ait verileri içermeyen ilk sırası yok sayılmalıdır. Bu bağlamda dosyanın hangi sütunlarda olduğunu belirtmek gerekmektedir.

Kaplamalı cam tabakaları işlemleri sırasında da aynı işlem uygulanmalıdır ancak daha kapsamlı bilgilere gerek duyulmaktadır. Kaplamalı cam tabakalarının genellikle kaplamalı olan tarafı işaretlidir; WIS, camın işaretli kısmının konumunun belirtilmiş olmasına gerek duyar ve bu konumlandırma genellikle konum 1 olarak görülmektedir (geleneksel ölçümlerde 1 yüzeyi dış mekan yüzeyidir). İlgili kutucuk işaretliyse işaretli kaplamalı cam tabakası konum 1'dedir işaretli değilse konum 2'dedir.

Yumuşak kaplamalar olarak tanımlanan çoğu kaplamalı cam tabakasında kaplamalı yüzey, camlı yüzey birimi boşluğunun içerisine yerleştirilmelidir. Geleneksel olarak çift cam birimde konum 1 dış cam tabakasının dış mekan yüzeyidir, konum 2 dış cam tabakasının iç mekan yüzeyi, konum 3 iç cam tabakasının dış mekan yüzeyi, konum 4 ise dış cam tabakasının iç yüzeyidir. Böylelikle yumuşak kaplamanın konumu, 2 veya 3 nolu yüzeylerdedir.

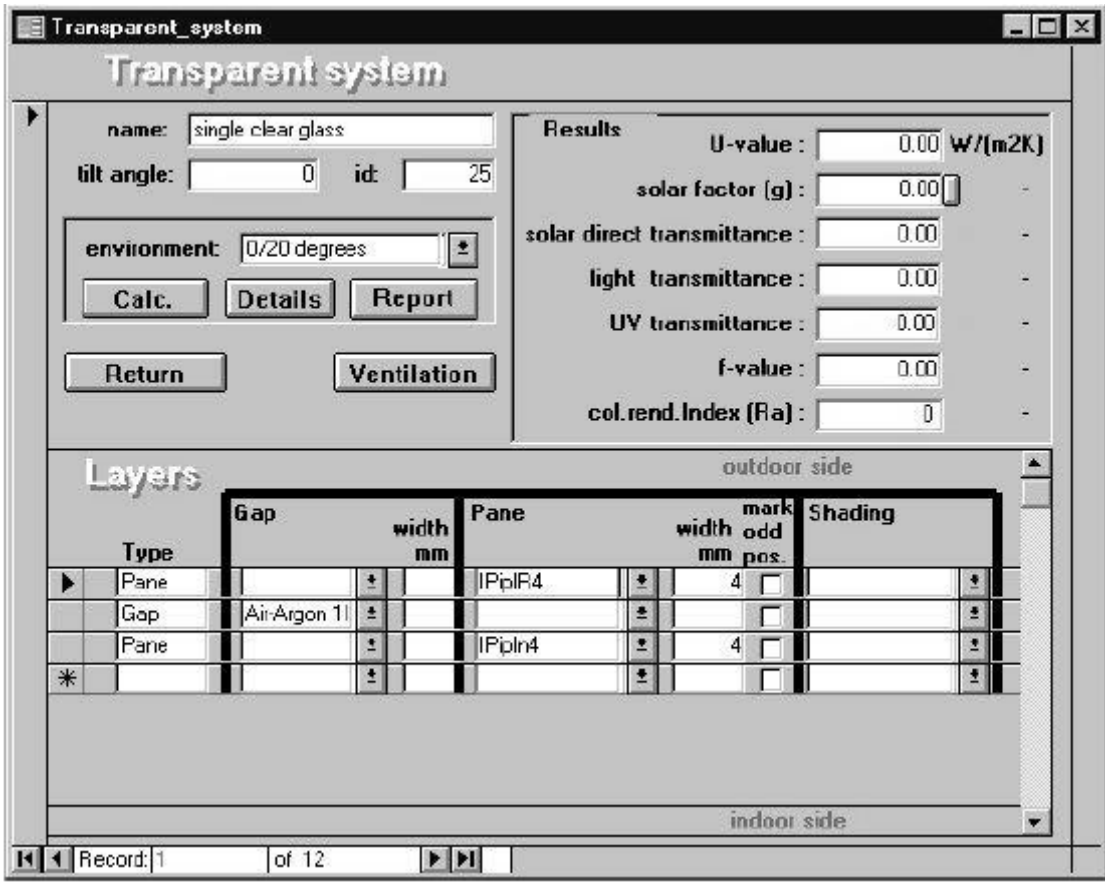


Şekil 4.3. WIS cam tabakası bölümü



Şekil 4.4. WIS gaz karışımı bölümü

Gaz karışımı bölümü cam sistemlerindeki boşluklarda bulunan gazlarla ilgili gereken verileri kapsamaktadır (Şekil 4.4). WIS, EN 673'e göre belirlenen hava, argon gazı, kripton ve SF6'yı kapsayan veri tabanına sahiptir ve ısıl iletkenlik, dinamik viskozivite, yoğunluk ve özgül ısıl kapasitesi gibi gerek duyulan verilerin girilmesiyle yeni gaz ve karışımlar eklenebilir.



Şekil 4.5. WIS cam sistemi bölümü

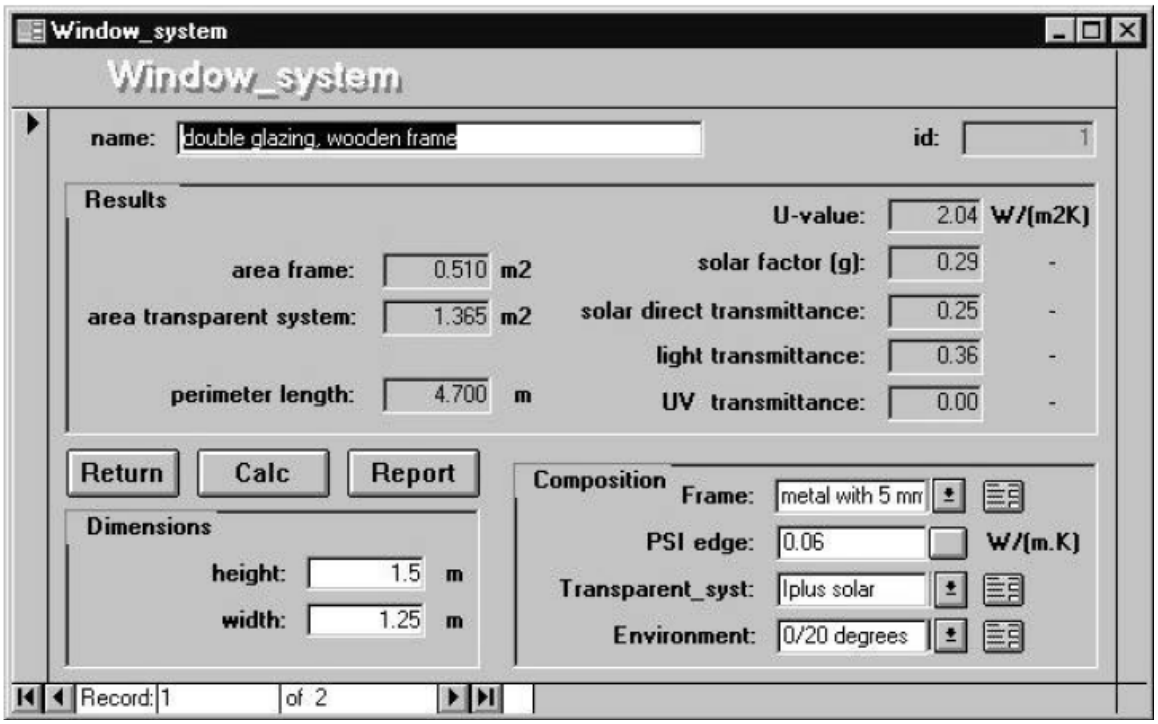
Cam sisteminin tamamına ait özellikler, çerçeve ve boşluk çıtası gibi değerleri olmaksızın merkezi değerlere ait sonuçların elde edilmesine yardımcı olan şeffaf sistem kullanılarak hesaplanabilmektedir (Şekil 4.5). Şeffaf bölümde camlı yüzeyin adı ve kimliği, geliş açısı (standard dikey konum) çevre özellikleri ve camlı yüzeyin katmanlarıyla ilgili verilere gerek duyulmaktadır. Bu veriler, WIS cam tabakası ve gaz karışımı bölümlerinde hali hazırda mevcuttur.

Kaplamaların doğru konumlarda olması gerekmektedir. Örneğin, düşük emisivite kaplamalı bir çift cam tasarlanıyorsa kaplamanın konum 3'de olması gerekmektedir (iç mekan camın dış yüzeyi). Şeffaf sistem dış mekândan iç mekâna doğru başladığından ilk cam tabakası yüzdürme cam olmalı ve sonrasında boşluğun hava ve gaz karışımı özellikleri girilmelidir sonrasında kaplamalı cam girilmelidir. Kaplamalı taraf işaretliyse ya da işaretli olan taraf diğer yüzeyse kaplama tek sayı (burada 3) olarak seçilir.

Program, tüm verilerin girilmesi sonrasında pencerenin ısı geçirme katsayısını (U değeri), camlı sistemin g değerini, görülebilir alan (ışık) geçirgenliğini (T_{vis}) ve UV geçirgenliğini hesaplar. Programda çerçeve bölümü çerçevenin adını, kimliğini, genişliğini, U değerini ve çerçevenin şematik çizimini gösteren kapsamlı bir bilgilendirme penceresi de yer almaktadır. WIS çerçevelerin ısıl performanslarının analiznide ayrıca 2 boyutlu sonlu farklar hesaplama yöntemini kullanarak çerçevenin ısı geçirme katsayısını hesaplayan Kobra ve Therm yazılımlarıyla da bağlantılıdır.

Pencere bileşenlerine ait tüm verilerin değişik araç bölümlerine girilmesi sonrasında pencere sistemi bölümü vasıtasıyla kullanıcı tamamen birleşik olarak pencere sistemine yönelik hesaplamalar yapar; çevre, camlı yüzey, çerçeve ve doğrusal geçirgenlikle ilgili verileri alır (Şekil 4.6). Doğrusal geçirgenlik değeri ψ, EN 10077-1 standardlarına göre hesaplanır.
Pencere boyutlarının seçilmesi ve çerçevenin geometrik özelliklerinin yeniden belirlenmesiyle WIS, camlı alanı, çerçeve bölgesini ve çevre uzunluğunu

hesaplar. Elde edilen diğer sonuçlar ısı geçirme katsayısı (U), güneş ışınımı kazanç katsayısı (g), ışık (T_{vis}) ve UV geçirgenliğine ait verilerdir [Van Dijk, D.,2002, 2003].



Şekil 4.6. WIS pencere bölümü

5. KONUT BİNALARINDA PENCERELERİN ENERJİ DERECELENDİRİLMESİNDE KULLANILAN HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE TÜRKİYE İÇİN UYGUN YÖNTEMİN BELİRLENMESİ

Doktora tezi kapsamında konut binalarının farklı iklim koşullarında ısıtma gerektiren dönem boyunca performanslarının değerlendirilmesine yönelik hesaplama yöntemleri incelenmektedir. İncelenen hesaplama yöntemleri alçak katlı konut binaları için, sabit hal koşullarında, özellikle ısıtma gerektiren dönem kapsamında pencerelerin enerji performanslarını değerlendirilmesine yönelik olarak geliştirilmiştir.

Hesaplamalarda iklim bölgesine göre değişim gösteren parametreler güneş ışınımı miktarı, iç ve dış ortam sıcaklıkları, ısıtma gerektiren dönem uzunluklarıdır.

Konut binalarında pencerelerin enerji derecelendirmesinde incelenen hesaplama yöntemleri sırasıyla;

- Kanada Hesaplama Metodu
- Danimarka Doğrusal Hesaplama Metodu
- İsveç Denge Noktası Sıcaklığına Dayalı Hesaplama Metodu
- Avrupa EWERS ve İngiltere Hesaplama Metodu‘dur.

5.1. Kanada Enerji Hesaplama Metodu

Kanada enerji derecelendirme (Energy Rating-ER) sistemi pencerenin enerji performansını sınıflandırmak için geliştirilmiş olan ilk sistemdir [Mayo,1989]. ER ısıtma sezonu boyunca ortalama ısı kaybını tanımlayan tek bir değerden oluşmaktadır.

Kanada hesaplama yönteminde, binanın denge noktası sıcaklığının 12°C olması durumunda ısıtma gerektiren dönem için ısı kaybı, güneşten ısı kazancı ve sızdırmazlık değeri dikkate alınmaktadır. Bu yöntemde güneş ışınımının saatlik değerleri, hava sıcaklığı ve 75 Pa basınç farkı için, basınç faktörü değerleri denge noktası sıcaklığının altındaki günler için ülke ortalaması olarak alınmıştır. Bu yaklaşımın avantajı belirli bir binaya ya da simülasyon programına bağlı kalmaması, kolaylıkla anlaşılabilir ve uygulanabilir olmasıdır.

ER sistemine göre pencerenin enerji dengesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır [Bernier ve ark., 2005]:

$$ER = [SHGCw\ Fs] - Uw\ (\bar{t}i - \bar{t}o)\ -\ [KPF\ \left(\frac{L75}{Aw}\right)] \qquad (5.1)$$

ER : Belli bir yerleşim birimi için ısıtma gerektiren dönemde gerçekleşen ısı transferi miktarı, W/m^2

SHGCw : Pencerenin güneş ısısı kazanç katsayısı

Fs : Isıtma gerektiren dönemde yönlerin ortalama güneş ışınımı şiddeti, W/m^2

$\bar{t}i - \bar{t}o$: Isıtma gerektiren dönemde iç ve dış ortam ortalama sıcaklık farkı, ºC

Uw : Isıtma gerektiren dönemde iç ortam ortalama sıcaklığı, ºC

KPF : Belli bir yerleşim birimi için ısıtma gerektiren dönemde baca etkisi ve rüzgar şiddetini dikkate alan basınç faktörü, Wh/m^3

L75 : 75 Pa basınç farkı için ölçülen hava sızıntısı m^3/h

Aw : Pencerenin alanı, m^2

ER değerinin pozitif çıkması camın ısıtma sezonunda net enerji kazancının olduğunu, negatif çıkması ise camın enerji kaybının olduğunu göstermektedir. Hesaplamalarda pencere alanı 1,2 x 1,2 m^2 olarak alınmaktadır. Ulusal Bina Koduna (National Building Code) göre tüm camlar CSA A440.2 (1998) 'daki

minimum şartlara uymak zorundadır. Buna göre sabit camların ER değeri en düşük -20, açılabilir camların ER değeri en düşük -38 olmalıdır. Konut binaları için 2002 yılında yayınlanan CSA A440.2 standardında camların sağlaması gereken sınır değerler daha düşürülmüştür. Yeni standardda bu değerler binanın bulunduğu kente göre değişmektedir. Orta ve Doğu Kanada'da sabit camlar için en düşük değer -3, açılabilir camlar için en düşük değer -13 ER olmalıdır. Bu değerler ülkenin güneyinde daha düşük, kuzeyinde daha yüksektir.

Camın U değeri ve SHGC değeri FRAME ve VISION bilgisayar programları kullanılarak yapılan simülasyonlar sonucunda bulunur (gerektiği takdirde fiziksel test de yapılabilir). L değeri camın sızdırmazlık düzeyine ve dış ortam hava koşullarına bağlıdır. Bu değer 75 Pa basınç farkı altında ölçülen hava sızıntısı değerinin ortalama değer olarak ayarlanması şekilde bulunur:

Camları binanın yıllık enerji ihtiyacına olan etkileri açısından karşılaştırmak için ortalama iklim özellikleri gereklidir. Ortalama şartları bulmak için detaylı bina simülasyon programlarını da içine alan birçok farklı teknik incelenmiştir. Tüm metodlar ısıtma sezonu için benzer sonuçlar vermiştir.

Özel bir bölgedeki ve/veya yöndeki camları karşılaştırmak isteyen tasarımcılar için Özel Enerji Derecelendirme Sistemi (ERS, Specific Energy Rating) geliştirilmiştir. ERS standardlarda zorunlu olmayan kısımda bulunmakta ve karşılaştırma değil, bilgilendirme amacıyla kullanılmaktadır [Carpenter ve ark.,1998].

5.1.1. Hava sızıntısının performansa etkisi

Soğuk, rüzgarlı bir günde sızdırmazlık düzeyi düşük pencerelerden gerçekleşen hava sızıntısı mekanda ısıl konforsuzluk yaratmaktadır. Bernier, 2005 yılında Kanada'nın farklı iklim bölgeleri ve farklı cam tiplerinin enerji performanslarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmanın

sonuçlarından, pencerelerde hava sızıntılarının neden olduğu ısı kayıplarının performansa etkisinin, ısı transferine dayalı kayıplar ve güneş kazançları ile kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeyde olduğu anlaşılmaktadır [Bernier, 2005]. Hava sızıntısının ısıl performans açısından etkisinin bu derece az olmasının nedenleri; günümüzde kullanılan camların geçmiştekilere oranla sızdırmazlık düzeyinin daha yüksek olması, soğuk rüzgarlı bir günde hava sızıntısı insanlar tarafından hissedilebilir olmasına rağmen, yıllık ortalamalar göz önüne alındığında ortalama rüzgar hızının ve hava sızıntısının yıl bazındaki etkisinin çok daha az olmasıdır. Isıtma gerektiren dönem için yukarıda belirtilen faktörlerin bina enerji tüketimine etkisi Henry ve Patenaude 1998, Bernier 2005 tarafından detaylı olarak incelenmiştir.

5.1.2. Soğutma dönemi ER derecelendirme değeri

Enerji derecelendirme (ER, Energy Rating) sistemi binada iklimlendirme olmadığı ya da iklimlendirme için harcanan enerji düzeyinin ısıtma için harcanana oranla çok düşük olduğunu varsaymaktadır. Kanada'da alçak katlı konutların sadece %25'inde iklimlendirme mevcuttur. Bununla birlikte, tasarımcının soğutma gerektiren dönemde camların performanslarını karşılaştırmak istediği durumlar da söz konusu olabilir. Bunun için ısıtma gerektiren dönem için geliştirilen formül bu kez soğutma gerektiren dönem için dış ortam sıcaklıkları ortalaması ve güneş ışınımı şiddeti hesaplamalara dahil edilerek bulunmaktadır. Soğutma amaçlı derecelendirmede ERC değeri mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır. ERC ne kadar düşük olursa ısı kazancı da o kadar düşük olacağından iklimlendirme için gerekli enerji de o kadar az olacaktır. ERC'de standardlarda zorunlu olmayan kısımda yer almaktadır.

Camların karşılaştırılması amacıyla ısıtma ve soğutma enerji sınıflandırmalarının denenmesi ve birleştirilmesi yapılabilir olmakla birlikte, ısıtma ve soğutma sınıflandırmalarının, ısıtma ve soğutma gerektiren dönem uzunluklarının kentlere göre farklılık göstermesi nedeniyle, Amerika ve

Kanada'da bu uygulamadan özellikle kaçınılmaktadır. Buna ek olarak karşılaşılan bir diğer sorun da konutun ısıtma ya da soğutma ihtiyacının yalıtım düzeyine, içsel ısı kazançlarının düzeyine, kullanılan klima vb. ekipmanın verimliliğine bağlı olarak değişmesidir.

Isıtma ve soğutma sınıflandırmalarının birleştirilmesindeki bu zorluklara rağmen, bu sınıflandırmalar ayrı ayrı kullanılarak cam seçimi ve derecelendirme yapılması mümkündür. Kanada ve Kuzey Amerika'da konut binalarında, cam seçimi sadece ısıtma sınıfı göz önüne alınarak yapılabilir. Konuya dair daha detaylı çalışma Reilly ve Hawthorne (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir [Carpenter ve ark.,1998].

5.2. Danimarka Doğrusal Hesaplama Yöntemi

Danimarka hesaplama yöntemi, ısıtma gerektiren dönem için alçak katlı konut binalarında pencerelerin ısıl performansını net enerji kazancı (net energy gain) yöntemi ile hesaplamaktadır. Hesaplama yönteminde Kanada modeli referans alınarak, hava sızıntılarının etkisi göz ardı edilmiştir. Kanada yönteminden farklı olarak, ısıtma gerektiren dönem uzunluğu ve güneş ışınımına ait veriler saatlik olarak hesaplamalara dahil edilmektedir. Net ısı kazancı denkleminde ısıtma gerektiren dönem boyunca elde edilen güneş kazançlarından, ısı kayıpları çıkarılmakta ve net kazanç elde edilmektedir.

Net enerji kazancında iklim verileri Danimarka Tasarım Referans Yılı'na [Jensen, Lund, 1995] dayalı olarak belirlenmektedir. Tasarım Referans Yılı, dış ortam sıcaklıkları ve güneş ışınımı şiddetini saatlik olarak vermektedir. Isı kaybı miktarı hesaplamalarda ısıtma gerektiren dönemdeki derece saat değerlerini kullanarak belirlenebilmektedir. Hesaplamalarda güneşten ısı kazancının etkisi, güneş ışınımının camlı yüzeye geiliş açısına, bulunulan yer ve zamana bağlı olarak değişmektedir.

Isı kaybı hesaplarında iç ortam sıcaklığı 20°C olarak kabul edilmekte olup, pencerelerden ısıtma gerektiren dönem için ısı kaybı, Q_{loss} aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{loss} = U \times \sum (20 - t_u) \times \Delta_t \times A \qquad (5.2)$$

Burada U camlı yüzey veya pencerenin ısı geçirme katsayısı ($W/m^2 K$), t_u, dış ortam sıcaklığı (^oC) ve Δ_t ısıtma gerektiren dönem süresinin uzunluğu (saniye), A pencere alanıdır (m^2). Bu yöntemde pencere boyutu prEN 14351 (CEN, 2005) "Pencereler ve dış mekandaki kapılar" standardında belirtilen boyutlarda seçilmektedir (1,23x1,48m).

Isı kayıp ve kazançlarına ait tüm girdiler saatlik olarak hesaplamalara dahil edilmektedir. Isıtma gerektiren döneme ait saatlik ısı kayıpları toplanarak, ısıtma gerektiren dönem için pencereden gerçekleşen toplam ısı kaybı elde edilmektedir [Duer ve ark., 2002; Nielsen ve ark.,2000].

5.2.1. Danimarka doğrusal hesaplama yönteminde güneşten ısı kazancının hesaplanması

Danimarka hesaplama yönteminde güneşten ısı kazancı, ısıtma gerektiren dönemde etkiyen güneş ışınımı şiddetine ve camlı yüzey ya da pencerelerin toplam güneş kazancı geçirgenliğine (g_{dir}) bağlıdır. Toplam güneş enerjisi geçirgenliğini (g_{dir}), direkt güneş ışınımının geliş açısına göre ayarlamak için basit bir metod kullanılmaktadır. Bu yöntem düşük geliş açılarına uyum sağlamakta, ancak gelişmiş camlar kullanılan pencerelerde yöntemin geçerliliği kısıtlı olmaktadır [Karlsson and Roos, 2000]. g_{dir} aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$g_{dir} = g \times [1 - \tan^{p} (i/2)] \qquad (5.3)$$

Burada *g*, 0^o geliş açısındaki toplam güneş enerjisi geçirgenliğidir; p, geliş açısına göre değişim gösteren katsayı, i direkt güneş ışınımının derece cinsinden geliş açısıdır.

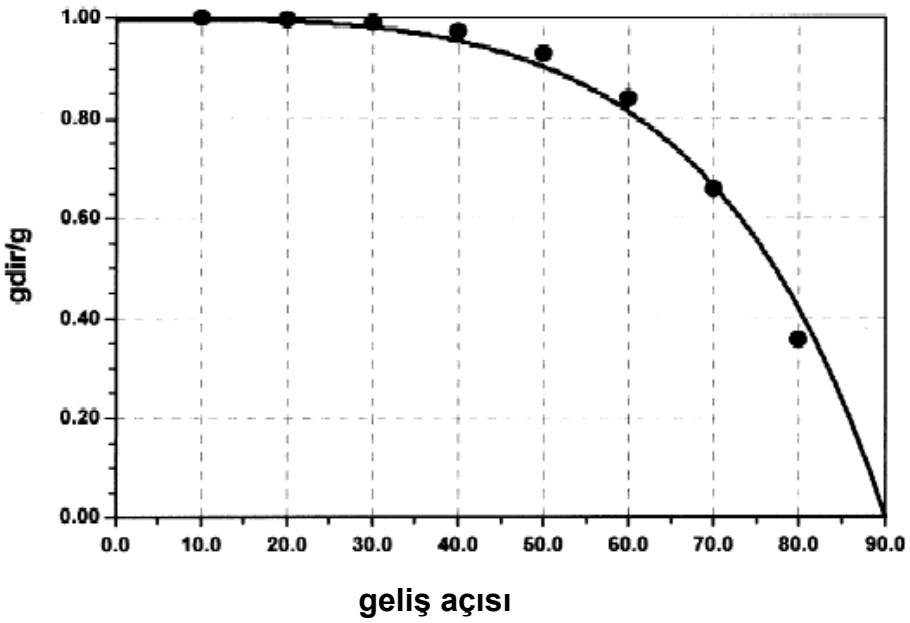
Yaygın güneş ışınımı, g_{dif} için toplam güneş enerjisi geçirgenliği aşağıdaki formülde verilmiştir.

$$g_{dif} = f \times g \qquad (5.4)$$

Burada g, 0^o geliş açısındaki toplam güneş enerjisi geçirgenlik değeri; f yaygın güneş ışınımı için düzeltme faktörüdür.

Direkt ve yaygın ışınıma göre toplam güneş enerjisi geçirgenliği, WIS [Van Dijk, 1996] programı aracılığıyla hesaplanmaktadır. Yaygın güneş ışınımı için düzeltme faktörü, yaygın ışınım için toplam güneş enerjisi geçirgenliğinin, 0^o geliş açısındaki direkt ışınım için toplam güneş enerjisi geçirgenliğine oranı olarak bulunmaktadır. Direkt güneş ışınımı, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinin, geliş açısına bağlı olarak ayarlanmakta, p değeri WIS programı aracılığıyla bulunmaktadır.

Şekil 5.1'deki eğri, WIS programı kullanılarak hesaplanan geliş açısına bağlı g değerindeki değişimi ifade etmektedir. WIS verileri ve ayarlanmış eğri arasında bazı farklar görülmektedir. Toplam güneş enerjisi geçirgenliğinin geliş açısına olan bağlılığının tüm camlı yüzeyler için aynı olduğu varsayılan bu çalışmanın amacı için, ayarlanmış eğrinin değer olarak doğruluk düzeyi kabul edilebilir sınırlardadır. Farklı kaplamalar içeren cam tipleri için daha hassas hesaplama yapılması gerekmektedir [Karlsson, Roos 2000].



Şekil 5.1. Camların farklı geliş açılarına göre değişen toplam güneş enerjisi geçirgenliği (g değeri) [Nielsen ve ark.,2000]

Çift camlı yüzeyler için yapılan hesaplamalarda g değerinin Low-E kaplamalı camlarda değişim gösterdiği belirlenmiştir. Diğer cam tiplerinde, geliş açısı için düzeltme faktöründeki değişim oranı daha düşüktür. g değeri üç katmanlı camlar için çift camlardan genellikle biraz daha düşüktür. Hesaplamalar sonucunda Danimarka iklimi için, Low-E kaplamalı, çift cam örneğinde
f = 0,86, yaygın güneş kazancı için geliş açısının olan düzeltme faktörü değeri p = 3,0 bulunmuştur.

$$g_{dir} / g = [1 - \tan^{p} (i/2)] \qquad (5.5)$$

Camlı yüzey veya pencere içinden binaya giren güneş kazancı olan Q_{solar}, değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{solar} = g \times [\sum (q_{dir} (1 - \tan^{p} (i/2)) \times \Delta_t) + \sum ((q_{dif} + q_{ref}) \times f \times \Delta_t)] \qquad (5.6)$$

Burada *g*, 0^{o} geliş açısındaki toplam güneş enerjisi geçirgenliğidir; q_{dir} ısıtma gerektiren dönem için camlı yüzeye etkiyen direkt güneş ışınımının ortalama

değerini (W/m^2); q_{dif} ısıtma gerektiren dönem için camlı yüzeye etkiyen yansıtılmış güneş ışınımının ortalama değerini (W/m^2); q_{ref} bu zaman diliminde yüzeye etkiyen yansıtılmış güneş ışınımının ortalama değerini (W/m^2); i bu zaman diliminde direkt güneş ışınımının derece cinsinden ortalama geliş açısını; f yaygın güneş ışınımı için toplam güneş enerjisi geçirgenliğine göre ayarlanabilen düzeltme faktörünü; Δ_t ısıtma gerektiren dönem süresi halindeki uzunluğunu (saat); p, g değerinin geliş açısına bağlılığını göstermektedir [Nielsen ve ark.,2000].

5.2.2. Net enerji kazancının hesaplanması

Net enerji kazancı, E, aşağıdaki formülde gösterildiği gibi güneş kazancı ve ısı kaybı arasındaki farktır.

$$E = Q_{solar} - Q_{loss} \tag{5.7}$$

$$E = g \times [\sum (q_{dir} (1 - \tan^{p} (i/2)) \times \Delta_t) + \sum((q_{dif} + q_{ref}) \times f \times \Delta_t)] - U \times \sum (20 - t_u) \times \Delta_t \tag{5.8}$$

Hesaplamalara göre Danimarka'da farklı camlar için toplam güneş geçirgenliğinin geliş açısına olan bağlı olarak değişim oranı %1-8 arasındadır. Bu, toplam güneş geçirgenliğinin ışınım geliş açısına bağımlı olarak gelişen etkinin hesaplamalara dahil edilmesi gerektiği anlamına gelmektedir.

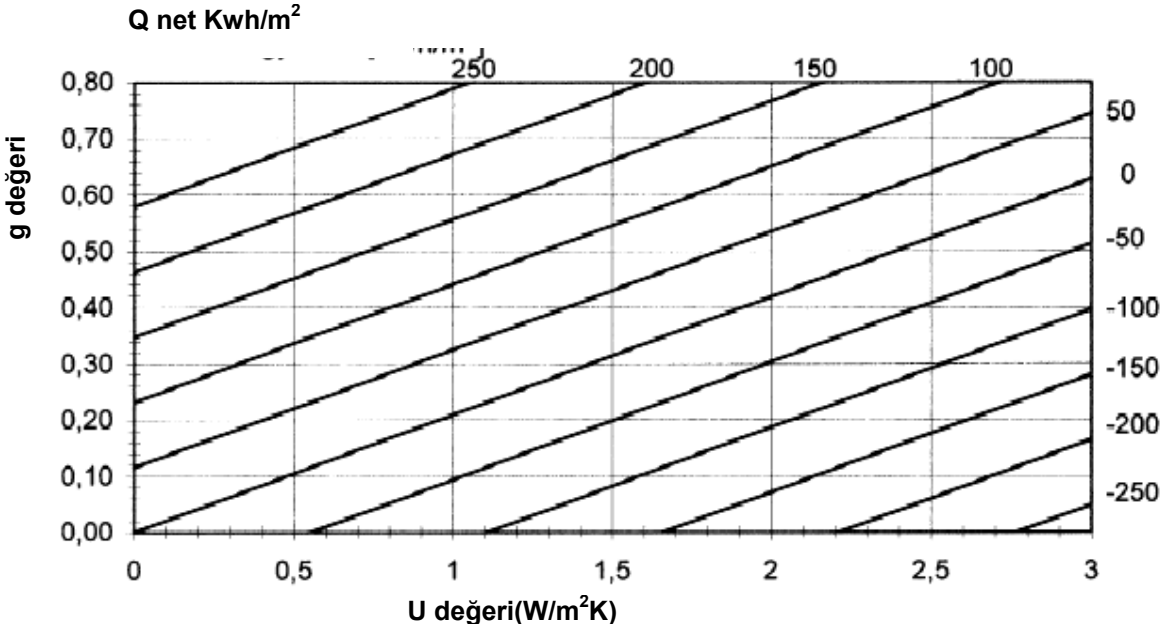
Camlı yüzeylerden net enerji kazancının belirlenmesine yönelik hesaplamalarda, yüzeyin gölgeleme durumunun ve güneş kazancının kullanım düzeyinin dikkate alınması gerekmektedir. Yüzeydeki gölgelemenin etkisi g değerinin, gölgeleme düzeltme faktörüyle (F_s) çarpılması ile hesaplanmaktadır. Güneş kazancının kullanım düzeyinin etkisi, hesaplamalarda düzeltilmiş g değerinin kazanç kullanım faktörü (η) ile çarpılması ile bulunmaktadır. Gölgeleme ve kullanım derecesini dikkate

alarak, camlı bir yüzey veya pencerenin düzeltilmiş g değeri, $g_{corr,}$ aşağıdaki açıklamadan belirlenebilmektedir.

$$g_{corr} = g \times F_s \times \eta \qquad (5.9)$$

Net enerji kazancı tahmininde düzeltilmiş g değerini kullanmak, gölgeleme ve kullanım derecesi için basit bir düzeltme vermektedir. Gölgeleme faktörü Avrupa Standardı EN 832 (1998) aracılığıyla hesaplanabilmektedir. Buna göre, standard koşullarda (düşey gölgeleme elemanı açısı ve 10^o saçak açısı) ve serbest ufku bulunan pencereler için, düzeltme faktörü olan $\sim F_S=0,9$ olarak belirtilmiştir. Isı kazançlarının kullanım faktörü η bulunulan bölgenin güneş ışınımı miktarına, bina tipine, dolayısı ile içsel kazançların düzeyine bağlı olarak değişim göstermektedir. Isıtma yükü dominant, içsel kazançların düzeyi düşük olan konut binalarında η değeri bire yakındır. Halbuki içsel ısı kazancı yüksek olan ofis binalarında kullanım faktörü oldukça düşmekte ve pencerelerden yüksek net enerji kazancı, içsel kazançların yüksek olması nedeniyle sakıncalı olabilmektedir. Bu yüzden ısıtma gerektiren dönem için pencerelerden net enerji kazancı hesaplama yöntemi, içsel ısı kazancı düşük, sadece ısıtma yükü ağırlıklı binalarda doğru sonuç vermektedir. İçsel ısı kazancı yüksek olan binalarda, camlı yüzeylerin ya da pencerelerin ısıtma yükleri üzerindeki etkisini hesaplamak için detaylı hesaplamalar yapılması gerekmektedir.

Danimarka'da net enerji kazancını camlı yüzeylerin ya da pencerelerin yönlenme, yüzey açısı, pencerenin ısı geçirme katsayısı ve g-değerine bağlı olarak veren diyagramlar üretilmiştir. Örnek olarak, Şekil 5.2'deki diyagram, güneye bakan düşey camlı yüzeyler ya da pencereler için ısıtma gerektiren dönem (24/9-13/5) süresince gerçekleşen net enerji kazancını vermektedir. Farklı yönler için de hesaplamalar yapılarak benzer biçimde diyagramlar üretilmiştir [Nielsen ve ark., 2000].



Şekil 5.2. Danimarka iklimi için ısıtma gerektiren dönemde camların güney yönünde g ve U değerlerine bağlı net enerji kazanç diyagramı [Nielsen ve ark., 2000]

5.2.3. Net enerji kazancının dinamik hesaplama yöntemiyle karşılaştırılması ve derecelendirme sisteminin geliştirilmesi

Net enerji kazancının hesaplamasının amacı, camlı yüzey veya pencerelerin ısıl performanslarının analizine yönelik değerlendirmelerde, basit ama güvenilir bir yöntem geliştirmektir. Net enerji kazancı hesaplanmasında elde edilen sonuçlar, Danimarka Yapı Araştırma Enstitüsü tarafından (Danish Building Research Institute, Johnsen, Grau, 1994) geliştirilen dinamik koşullarda binanın enerji performansını analiz eden bina simülasyon programı tsbi3 yazılımı ile yapılan hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır.

Hesaplamaların karşılaştırması sonucunda tsbi3'le hesaplanan ısıtma talebindeki ve net enerji kazancı hesaplamasında elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle, doğrusal net enerji kazancı hesaplama yöntemi, Danimarka'da camların enerji performanslarının karşılaştırılmasında detaylı hesaplama yöntemleri yerine kullanılmaktadır.

Enerji derecelendirmesinin amacı, daha iyi enerji performansına sahip ürünlerin kullanımını ve gelişimini özendirmektir. Camlı yüzey ve pencerelerin enerji performansını oranlamak için, hem pencerenin ısı geçirme katsayısı hem de g-değerini kapsayan bir derecelendirme sistemi geliştirmek gerekmektedir. Mimarlar, uygulayıcılar ve mal sahiplerinin ısıtma yükü ağırlıklı evlerde pencerelerde farklı cam tiplerinin performansını karşılaştırabilmelerini kolaylaştırmak için, ısıtma gerektiren dönemdeki net enerji kazancı hesaplama yöntemini kullanabilmektedir [Nielsen, ve ark., 2000].

Camlı yüzeyler aşağıdaki yıllık enerji tüketim miktarına göre A, B ve C harfleriyle sınıflandırılmıştır. Isıtma gerektiren dönemde sadece pozitif net enerji kazancı olan camlı yüzeyler sınıflamaya dahil edilmiştir.

A: 20 kWh/m^2'den fazla net enerji kazancı
B: 10 ve 20 kWh/m^2 arası net enerji kazancı
C: 0 ve 10 kWh/m^2 arası net enerji kazancı

Danimarka derecelendirme sisteminde şu anda sadece farklı cam tiplerinin derecelendirmesi yapılmıştır. Bu metod pencereleri de kapsayacak şekilde genişletilebilir. Bu metod 2000 yılından itibaren Danimarka'da camlı yüzeylerin derecelendirilmesinde kullanılmaktadır [Lorentzen, 2001].

Doğrusal net enerji kazancı hesaplama yöntemini kullanarak Türkiye'de, farklı cam tiplerinin, farklı derece gün bölgelerini temsil eden illere ait performanslarını benzer bir yöntemle analiz edebilmek için, yukarıda belirtilen

formulasyona göre, tüm verileri saatlik olarak hesaplamaya yönelik bir yazılım desteği gerekmektedir.

5.3. İsveç Denge Noktası Sıcaklığına Dayalı Hesaplama Metodu

1994 yılında Karlsson B. ve Roos tarafından geliştirilen modele göre, bina girdisi olarak sadece "denge sıcaklığı" kullanılmaktadır. Bir binanın enerji sistemi için güneş ışınımının ve ısıl ısı akışının yararlı olup olmadığını denge sıcaklığı belirlemektedir. Denge sıcaklığı, binanın pasif olarak iklimlendirilebildiği, iç dış ısı transferinin durduğu sıcaklık noktasıdır [Karlsson, J., 2000]. Bir binanın denge sıcaklığının düşük olması, bulunulan iklim bölgesinde dış ortam sıcaklıklarının ve/veya binanın içsel ısı kazançlarının yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Ofis binalarında denge sıcaklığı düşük, konut binalarında ya da soğuk iklim bölgelerinde denge sıcaklığı yüksektir.

Bu model "Karlsson Modeli" olarak adlandırılmaktadır. 2000 yılında Karlsson J.A., denge sıcaklığına dayalı olarak camların enerji performansının hesaplanmasında, bulunulan bölgeye göre, saatlik olarak açıya bağlı değişim gösteren güneş ısısı kazanç katsayısı değerlerini de hesaplamalara dahil etmiş, İsveç iklimi için hesaplama yapan Win-sel yazılımını geliştirmiştir.

Önceki model (Karlsson Modeli, 1994) ısıtma gerektiren dönemde toplam güneş ışınımı (S), ve derece-saat değerlerini (G), kullanarak, bu değerlerin sıcaklık değişimi ile etkileşimini incelemektedir. Yapılan simülasyonlarda, SMIH (İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü) ölçümlerine dayanılarak Stockholm (Enlem:59º.11'Kuzey, Boylam: 17º.59') için 1983-1992 yılları referans yıl (TRY) olarak alınmıştır. Stockholm'de güney yönlü yüzey, 850 kWh/m^2 yıl en yüksek güneş ışınımına maruz kalmaktadır. T_0 sıcaklığına kadarki toplam derece-saat sayısını, G, göstermektedir. Burada G:

$$G(T_O) = \sum_{T=T\,min}^{T_0} H(T)(T_{eq} - T) \qquad (5.10)$$

Formülü ile ifade edilmektedir. Bu formülde; T dış ortam sıcaklığı, H ise sıcaklığın T olduğu toplam saat sayısıdır. T_{min} yılın en düşük sıcaklılığı, T_{eq} iç ortam sıcaklığı (20°C) olarak alınmaktadır. İsveç için yıllık toplam derece-saat sayısı 115°C h civarındadır. Karlsson, B.,1994 tarafından geliştirilen modelde binanın denge sıcaklığı ve camdan geçen toplam enerji akışı aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$E = \bar{g}\, S(T_b) - UG(T_b) \qquad (5.11)$$

Bu denklemde; E yıllık ısıtma enerji dengesi (kWh/m^{2}y), $\bar{g}$ yıllık ortalama g değeri (-), S yıllık toplam güneş enerjisi miktarı (Wh/m^{2}y), U camın ısı geçirme katsayısıdır (W/m^{2}K). E, g ve S değerleri birbirlerine bağımlıdır. Bu denklem; farklı binalardaki çeşitli cam türleri için güneş enerjisi değerlerini de içine alarak enerji dengesini elde etmenin çok basit bir yoludur. İsveç gibi soğuk iklimlerde, enerji danışmanları ve cam üreticileri camların UG değerlerini hesaplayarak enerji verimliliklerini karşılaştırmaktadır. Karlsson modeli özellikle yüksek soğutma yüküne sahip binalar için çok önemli bir veri olan güneş ışınımını da göz önüne alarak bu hesabı iyileştirmektedir. Karlsson modelinin (1994) bir sakıncası, S ve G eğrileri ile g nin her cam tipi , her bölge ve yön için hazırlanması gerekliliğidir. Bu dezavantajların önüne geçebilmek saat bazlı benzer yöntem, geliştirilen yazılım yardımı ile hesaplamalarda kullanılmaktadır.

5.3.1. Camın açıya bağlı g değerinin hesaplanması

Camdan olan ısı transferi standardlarda hala camın U değeri ile ifade edilmektedir. Ancak, gerçek koşullarda güneşten ısı kazançlarının hesaplamalara katılması gerekmektedir. Toplam güneş enerjisi geçişini ifade

eden güneş ısısı kazanç katsayısı, g, göz önüne alındığında, bu değerin açıya bağımlı olduğu unutulmamalıdır. Bu modelde, camların doğru açısal bağımlılığı elde etmek için kategorize edilmesi gereklidir. Normal (geliş açısının dik olduğu) durumdaki g değeri olan g (0), cam tipi (kaplama tipi) q, cam sayısı, p, değerlerinin bilinmesi halinde, gerekli açısal bağımlılıktaki g değeri herhangi bir açı için maksimum %3 hata ile hesaplanabilmektedir.

Buna göre yüksek açılarda uç noktaların g değerleri arasında %30 kadar farklılık bulunmaktadır. Bu modelin kullanılabilmesi için U, g(0), p, q değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

5.3.2. Denge noktası sıcaklığına dayalı enerji denge denklemi

Bu model denge noktası sıcaklığını kullanarak güneşten ısı kazançlarının bina için yararlı olup olmadığına karar verilmesini kolaylaştırmaktadır. Modele göre camlı yüzeyden gerçekleşen ısı transferinin yönünün, iç ortamdan dış ortama ya da dış ortamdan iç ortama doğru oluşuna göre binada ısı kaybı ya da kazancı, dolayısıyla binanın ısıtma ya da soğutma gereksinimi belirlenebilmektedir. Yapının denge noktası sıcaklığı, T_b, binanın aktif ısıtma sistemi desteğine gerek duymadığı ortalama dış ortam sıcaklığına karşılık gelmekte, denge noktası sıcaklığında yapının iklimlendirilmesi için içsel ısı kazançları ve güneş kaynakları yeterli olmaktadır. Dış ortam hava sıcaklığı, yapının denge noktası sıcaklığının altındaysa mevcut güneş enerjisinden yararlanılması, tam tersi durum söz konusu ise güneş enerjisinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu yöntem ile binanın enerji gereksinimi için, ısı kaybı ve güneş miktarının gerekliliği değerlendirilir ve bu sayede pencerenin yıllık enerji dengesi tanımlanabilir. Konut binaları yüksek denge sıcaklığına sahiptir (örn 15°C), bu durumda, ısıtma gerektiren dönem için güneşten pasif anlamda yararlanmak esastır. İçsel ısı kazançları yüksek olan ofis benzeri ticari yapılar ise düşük denge sıcaklığına sahip olup (örn 5°C), bu durumda güneş enerjisinden yararlanma düzeyinin daha kontrollü ele alınması, aşırı ışınma sorununa dikkat edilmesi gerekmektedir [Karlsson, 2000].

Isı kazaçlarının bina için gerekli olup olmamasına denge noktası sıcaklığına, T_b, bakılarak karar verilir. Karlsson modelinde, denge sıcaklığı, binanın aktif ısıtmaya gerek duymadığı yıllık ortalama dış ortam sıcaklığının üstünde bir değer olarak alınmıştır. Bu model, cam değiştirildiği zaman denge sıcaklığının değişmediği varsayımı üzerine kuruludur. Bu karakteristik parametre; binanın yalıtım ve sızdırmazlık düzeyine, binanın içsel ısı kazançlarının miktarına vb. bağlıdır. Dış ortam sıcaklığının denge sıcaklığından yüksek olduğu durumda, iç kaynaklar camlardan ve duvardan olan ısı kaybıyla dengelenmektedir. Normal şartlar altında aktif soğutma iç ortam sıcaklığı T_b'yi aşmadığı sürece gerçekleşmez. (Genelde T_{dyn} = 5°C ve dinamik sıcaklık salınımı olmak üzere $T_b + T_{dyn}$ durumuna kadar). Bu açıklamalar ışığında, güneş ışınımının binanın enerji sistemi için pozitif ya da negatif olduğunu, yani ısıtma ve soğutma yükünde artma ya da azalma olduğunu tanımlanabilmektedir.

Direkt ve yaygın yatay güneş ışınımı; direkt, izotropik yaygın, yüzeyden yansıyan ve güneşin dönüşü dolayısıyla camı etkileyen ışınıma dönüştürülür. Direkt ışınım cama, coğrafi bölgeye, yönlenmeye, cam yüzeyinin normaline ve günün saatine h, bağlı olarak belli bir açıyla etkimektedir, θ_h. Yaygın ışınım için belli bir açıdan söz etmek güçtür. Yaygın ışınım dağınık ve yansıtılmış ışınımdan oluşur. Buna rağmen, efektif açı, yüzeyden yansıyan ışınım için θ_{er} ve izotropik yaygın ışınım için θ_{ei} olmak üzere bunların entegrasyonuyla tanımlanabilir [Duffie,Beckman, 1991].

Camdan olan yıllık enerji aktarımı:

$$E = \frac{\sum T_\tau(h) < T_b\left[g(\theta_h)I_{dir}(h) + g(\theta_{ei})I_{diff}(h) + g(\theta_{er})I_{refl}(h) - U(T_{eq} - T_\tau(h))\right]}{E_{conv}} \qquad (5.12)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada; $g(\theta_h)$, $g(\theta_{ei})$, $g(\theta_{er})$, θ_h, θ_{ei}, θ_{er} açılarındaki camlar için toplam güneş enerjisi geçirgenliğini ifade etmektedir. I ifadeleri, cama belli bir zamanda (h) etkiyen direkt, izotropik yaygın ve yüzeyden yansıtılmış güneş ışınımı şiddetini (W/m^2) belirtmektedir. I_{dir} (h) güneşin dönüşünden

dolayı kaynaklanan güneş ışınımını da içermektedir. E ısıtma enerji dengesi olarak adlandırılır. E_{conv} ise binada kullanılan enerji sistemine bağlı olarak kullanılan enerji dönüşüm faktörüdür. E_{conv} kullanılan ısıtma sisteminin yıllık yakıt kullanım verimliliğine eşittir. Bu değer ısı kaybına karşı ne kadar enerji alınması gerektiğine karar vermekte kullanılır. Eğer E pozitif ise, güneye bakan pencerenin enlem dolayısıyla kaybettiği enerjiye oranla daha çok enerji kazandığı ortaya çıkar. Yüksek güneş geçirgenliğine sahip camlar soğuk mevsimlerde ısıtmaya katkıda bulunurken, sıcak mevsimlerde aşırı ısınmaya sebep olurlar. Bu model, camların binaların soğutma yükünün azaltılmasına ne kadar katkıda bulunabileceğinin değerlendirilmesine de olanak sağlamaktadır. T_b + T_{dyn} den yüksek sıcaklıklarda, güneş ışınımı enerji sistemi için negatiftir ve bu enerji ortam sıcaklığının artmasına sebep olacaktır ya da soğutma gereksinimi artacaktır. T_b + T_{dyn} den yüksek sıcaklıklarda enerji akışı incelendiğinde cam için yıllık toplam soğutma yükü yukarıdakine benzer bir şekilde:

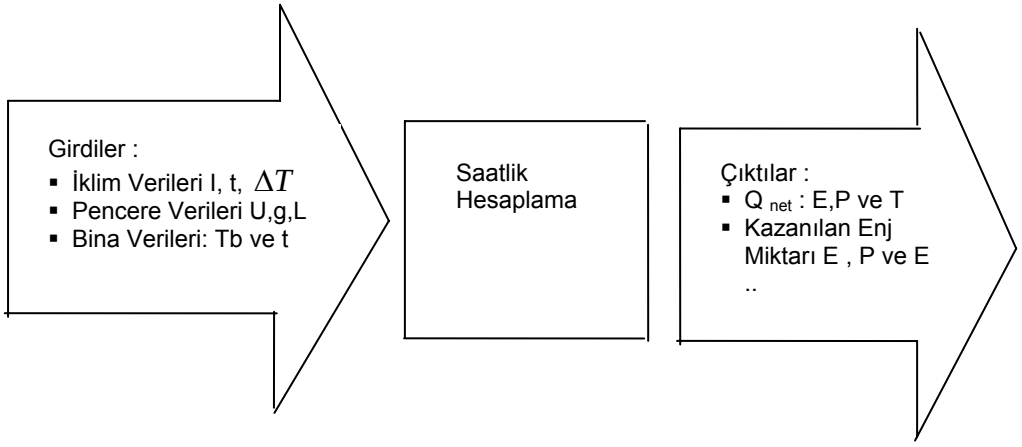
$$P = \frac{\sum T_\tau(h) > T_b + T_{dyn}\left[g(\theta_h)I_{dir}(h) + g(\theta_{ei})I_{diff}(h) + g(\theta_{er})I_{refl}(h) - U(T_{eq} - T_\tau(h))\right]}{P_{conv}} \quad (5.13)$$

formülü kullanılarak elde edilir. Burada; P_{conv}, E_{conv}'e benzer şekilde dönüşüm faktörüdür. Klima kullanıldığı düşünülürse, bu faktör soğutma uygulamasının Performans Faktörü (Coefficient of Performance) normalde 2-3 olarak alınır. Eğer amaç camları karşılaştırmaksa, enerji derecelendirme sisteminde olduğu gibi, P_{conv} ve E_{conv} 1'e eşit alınır. P ise soğutma enerji dengesi olarak adlandırılmaktadır. Sonuç olarak; E camdan dolayı kazanılan ya da kaybedilen ısı miktarını vermekte, P ise camdan dolayı ne kadar soğutma gerektiğini kW h/m^2 yıl cinsinden ifade etmektedir. Eğer binada aktif soğutma kullanıldığı düşünülürse, yıllık toplam enerji dengesi:

$$E_{tot} = E - P \quad (5.14)$$

denklemi kullanılarak hesaplanır. E, P ve E_{tot}, değerleri T_b , T_{dyn}, T_{eq} ve T dışında enlem, yön ve saatlik güneş ışınımı şiddeti gibi iklim verilerine de

bağlıdır. E_{saved}, P_{saved} ve $E_{totsaved}$ parametreleri elde edilir. Bu parametreler baz alınan duruma göre kW h/m^2 yıl cinsinden yıllık enerji tasarrufunu verir. Tüm bu prosedür Şekil 5.4 de ifade edilmektedir.



Şekil 5.3. Pencerelerin enerji performansının hesaplanmasında Karlsson modelinin akış şeması [Karlsson,2001]

Karlsson modeli pencerelerin ısıtma gerektiren dönem için, farklı iklim bölgelerinde ve farklı yönlerdeki performanslarının değerlendirilmesinde, saatlik iklim verilerini ve açıya bağlı değişim gösteren g değerlerini hesaplamalara katması nedeniyle, dinamik koşullarda analiz yapan simülasyon programları ile benzer, hassas sonuçlar elde edilmesini sağlayan bir modeldir. Ancak bu model ve geliştirilen yazılım İsveç koşullarına ait iklim verilerini kullanmaktadır. Türkiye'de, bu modeli kullanarak farklı cam tiplerinin, farklı derece gün bölgelerini temsil eden illere ait performanslarını benzer bir yöntemle analiz edebilmek için, yukarıda belirtilen formulasyona göre, tüm verileri saatlik olarak hesaplamaya yönelik bir yazılım desteği gerektirmektedir.

5.4. Avrupa EWERS ve İngiltere Hesaplama Metodu

Avrupa Birliği genelinde 2000 yılından bu yana, İngiltere, Almanya, Hollanda, Norveç, İsveç, Danimarka, Finlandiya, İtalya'nın katılımıyla gerçekleştirilen 2003 yılında tamamlanan Avrupa Pencere Enerji Tüketim Profilinin

Derecelendirilmesi Sistemi (European Window Energy Rating Sytem-EWERS) geliştirilmiştir [Spiekman, M. ve Van Dijk, 2000; Platzer, 2002; Thyholt, M., ve Mork, 2003; Kent, 2003]. EWERS projesi Avrupa Birliği genelinde konut binaları için ısıtma gerektiren dönemdeki performanslarının karşılaştırılması ve derecelendirme sisteminin geliştirilmesini hedeflemektedir. EWERS projesi kapsamında geliştirilen pencerelerin enerji derecelendirmesi modeli gelişmişlik düzeyi olarak 2. etap değerlendirme modelleri arasında yer almaktadır. Konuya ait bilgi Bölüm 3.1 ve 3.2.4'te detaylı olarak verilmiştir. Modele göre, Avrupa genelinde pencere performansının değerlendirilmesinde, pencerelerin sağlaması gerekli olan performans göstergeleri, ilgili standardlara göre hesaplanarak bir veri tabanı oluşturulmakta, ısıtma gerektiren dönem boyunca gerçekleşen ısı transferi miktarının (Q_{net}) belirlenmesinde, Avrupa ülkelerine ait derece gün bölgelerinin A ve B katsayıları hesaplamalarda dikkate alınmaktadır. Model ülkeler arasında iklim verilerinin hangi düzeyde hesaplamalara katılması gerektiği ve değerlendirilen referans binanın tipi, pencere boyutları açısından tüm ülkeler tarafından kabul görmemiştir. Danimarka'da Bölüm 5.2, İsveç'te Bölüm 5.3 de açıklanan hesaplama yöntemlerini kullanarak derecelendirme sistemi geliştirmeye yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Finlandiya'da TRNSYS simülasyon programı ile tipik Finlandiya konutu için, 2003-2005 yılları arasında gerçekleştirilen pilot proje sonucunda, pencere derecelendirme sistemi 2006 yılında devreye girecektir [Hemmila, K., 2005]. Benzer şekilde TRNSYS simülasyon programı kullanılarak İtalya'daki konutlar için derecelendirme sistemi geliştirmeye yönelik çalışmalar sürmektedir [Maccari ve Zinzi, 2000].

EWERS hesaplama metodu şu an İngiltere'de geçerli olan metoddur. İngiliz Pencere Derecelendirme Kuruluşu (British Fenestration Rating Council BFRC) 2000 yılından beri yürüttüğü pilot projeyi 2004 yılında sonuçlandırmıştır. İngiliz Standardı BS Part L 100 2006 yılında pencerelerin enerji derecelendirmesine yönelik sistemi yürürlüğe sokacaktır [Kent, 2004].

Bu modelde ön görülen kabuller ve kısıtlar aşağıda yer almaktadır [Spiekman, M, Van Dijk, 2000; Platzer2002; Thyholt, M., Mork, 2003]:

- Model alçak katlı konut binaları için geçerlidir.
- Bulunan derece gün bölgesinin iklimsel koşullarının etkisini Q_{net} hesaplamalarına dahil etmektedir.
- Performans değerlendirmesinde geçerli olan süre, ısıtma gerektiren dönemi kapsamakta, soğutma yüklerinin etkisi dikkate alınmamaktadır.
- Uluslararası Enerji Ajansı'nın Task 27 projesi kapsamında değerlendirilen konut binası hesaplamalarda referans bina olarak kullanılmaktadır.
- Pencerelerde cam tabakaları arasında, dışarıda yada iç mekanda yer alabilen güneş kontrol mekanizmalarının performansa etkisi kapsam dışıdır.
- prEN 14351 (CEN, 2005) "Pencereler ve dış mekandaki kapılar" standardında belirtilen boyutlarda seçilmektedir (1,23x1,48m).
- Pencerelerin sızdırmazlık performansının 50Pa basınç farkında ölçülmüş değer olan L=0,1 W/m^2K yeterli düzeyde olduğu ön görülmüş ve hesaplamalara dahil edilmemiştir.
- Isıtma gerektiren dönem boyunca düşey yüzeylere gelen toplam güneş ışınımı miktarı tüm yönler ortalaması olarak alınmıştır. Bu değer saatlik iklim verilerinin olmadığı koşullarda, aylık ortalamalar alınarak elde edilmektedir (Kent, 2003).
- Isıtma gerektiren dönem dış hava ortalama sıcaklığı, ısıtma gerektiren dönem uzunluğu, bina kazanç kullanım faktörü (utilisation factor) değerleri EN 832 (1998) standardında belirtilen yöntemle hesaplamalara dahil edilmektedir.
- Güneş ışınımı kazanç katsayısı g değerlerinde ışınımın geliş açısı yüzeye dik olarak kabul edilmektedir.
- Isıtma gerektiren dönem iç ortam ortalama sıcaklığı, EN 832 (1998) standardında belirtildiği gibi 20 °C alınmıştır.

Buna göre pencerenin sağlaması gereken Q_{net} değeri aşağıdaki formülle ifade edilmektedir.

$$Q_{net} = \eta_g \cdot (g_w) . Q_{sol} - U_w .(T_i - T_e). t \quad (5.15)$$

Q_{net} : Pencereden net ısı kazancı, MJ

η_g : Güneşten ısı kazancı kullanım

g_w : Pencerenin güneş ısısı kazanç katsayısı , $\theta = 0°$

Q_{sol} : Isıtma gerektiren dönem boyunca düşey yüzeye gelen ortalama güneş ışınımı miktarı, MJ/m^2

U_w : Pencerenin ısı geçirme katsayısı, $W/ m^2 °C$

Ti : İç ortam sıcaklığı, °C

T_e : Isıtma gerektiren dönem dış ortam ortalama sıcaklığı, °C

t : Isıtma gerektiren dönemin uzunluğu, Ms, Mega saniye

Bu denklemde $\eta_g . (g_w)$ değeri A katsayısı, $(T_i - T_e). t$ değeri B katsayısı olarak tanımlanmaktadır. A katsayısı iklim bölgesi ve bina tipine göre, B katsayısı ise sadece iklim bölgesine göre değişmektedir. A katsayısı iklim bölgelerine, kullanılabilir güneş enerjisine ve onun geliş açısına bağımlıdır. B katsayısının değeri soğuk iklim bölgelerinde, ısıtma gerektiren dönem uzunluğunun artması nedeniyle artmakta, iklim ılımanlaştıkça B değeri azalmaktadır [Karlsson, 2000].

Modelde Q_{net} değerinin hesaplanması, ısıtma gerektiren dönem boyunca ortalama güneş ışınımı ve camın güneş ısısı kazanç katsayısı ile elde edilen ısı kazançlarından, ısıtma gerektiren dönem boyunca camlı yüzeyden gerçekleşen ısı kaybının çıkarılması prensibine dayanmaktadır. Bu ilke detay düzeyi farklılaşmakla birlikte, değerlendirilen tüm yöntemlerde hesaplamaların temelini oluşturmaktadır.

Avrupa'da pencerelerin enerji dengesinin hesaplanmasına yönelik olarak geliştirilen standard olan EN-ISO 14438'de (2002) E (pencerenin dinamik ısı geçirme katsayısı) olarak tanımlanmaktadır. Standardda aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$E = U - T_g \cdot S \quad (5.16)$$

$$S = 42 \cdot f \cdot T_s \cdot G_p/D_p \quad (5.17)$$

U : Camlı yüzey pencerenin ısı geçirme katsayısı, w/m^2K

T_g : EN 410'a göre camlı yüzeyin güneş ısısı kazanç katsayısı, g

f : Güneş ısısı kullanım faktörü

T_s : Camlı yüzey için düzeltme faktörü

G_p : Isıtma gerektiren dönemde camlı yüzeye gölgeleme olmadan gelen güneş ışınımı şiddeti, kWh/m^2

D_p : Isıtma gerektiren döneme ait toplam derece gün değeridir.

EN-ISO 14438'de *f* ve Ts, değerleri sırasıyla 0,6 ve 0,8 olarak alınmaktadır. Ancak bu değerlerin bulunulan bölge için hesaplanmasında daha detaylı yöntem EN 832 ve EN ISO 13790'da belirtilmektedir. Güneşten ısı kazançlarına ait veriler açısından EN-ISO 14438, bina ısı kayıplarının hesaplanmasında Avrupa genelinde güncel standard olan EN 32 ve EN ISO 13790 standardları ile birebir uyum sağlamamaktadır. Bu nedenle yaygınlık kazanmamıştır.

5.5. Türkiye İçin Pencerelerin Enerji Performanslarının Hesaplanmasında Kullanılacak Yöntem

Avrupa genelinde alçak katlı konut binalarında, ısıtma gerektiren dönem için pencerelerin enerji performansına yönelik hesaplamalar incelendiğinde, tüm yöntemlerin Kanada ER hesaplama yöntemini baz aldığı görülmektedir. Hesaplama yöntemleri ısıtma gerektiren dönem boyunca camlı yüzeye gelen

ortalama güneş ışınımı miktarı ve camın güneş ısısı kazanç katsayısı ile elde edilen ısı kazançlarından, ısıtma gerektiren dönem boyunca camlı yüzeyden gerçekleşen ısı kaybının çıkarılması prensibine dayanmakta, hava sızıntılarının etkisini ısıl performans analizlerine dahil etmemektedir. Bu açıdan EWERS projesi kapsamında geliştirilen, halen İngiltere'de kullanılan formül olan bölüm 5.4'te belirtilen (5.15) nolu formül, doktora çalışmasında Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki pencerelerin performans analizlerinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Formülün Türkiye koşullarına adaptasyonu ve izlenen süreç aşağıda tanımlanmaktadır.

Pencerenin ısıl performansının analizinde şu işlem sırası izlenmektedir. Öncelikle referans bina tanımlanmakta, genellikle referans bina ülke koşullarına göre araştırmacı tarafından belirlenmektedir. Referans binanın tanımlanmasından sonra, bulunulan bölgeye göre değişim gösteren iklim verileri olan ısıtma gerektiren dönemde camlı yüzeye etkiyen güneş ışınımı şiddeti, dış ortam sıcaklıkları hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda saatlik veri yok ise, aylık verilerin kullanılması mümkündür. Isıtma gerektiren dönem uzunlukları derece saat ya da derece gün olarak verilmeli ya da EN 832 (1998) Bölüm 8.1 de belirtilen yöntemle hesaplanmalıdır. Bundan sonraki aşamada, pencerelere ait veriler tanımlanmaktadır. Referans binada pencerelerin yönleri ve alanları, pencerenin performans göstergeleri tanımlanması gereken verilerdir. Spesifik olarak bir yönün performansa etkisi incelenmek isteniyorsa, hesaplamalar o yön için yapılmalıdır. Spesifik olarak pencere alanındaki değişimin performansa etkisi incelenmek istendiği koşulda ise, farklı boyutlar için hesaplamalar yapılmalıdır. Ancak farklı cam tiplerinin, iklim bölgelerine göre performansa etkisinin değerlendirildiği koşullarda yönün ve boyutun etkisini sabit kılmak için tüm yönlerdeki pencere alanı eşit alınmakta, pencere boyutları ise CEN normlarına göre standard boyutta seçilmektedir. Doktora çalışmasının amacı Türkiye'de farklı derece gün bölgelerinde farklı cam tiplerinin performanslarını karşılaştırmak ve bölgelere göre ısıtma gerektiren dönem için konut binalarında uygun cam

tiplerini belirlemektir. Bu nedenle yönün ve pencere boyutunun etkisi sabit alınmıştır.

Isıl açıdan performans analizinde performans göstergelerinin hesaplanması gerekmektedir (U, g, T_{vis}, L). U, g ve T_{vis} değerleri Avrupa'da bu konuda kullanılan program olan WIS yazılımı ile hesaplanmaktadır. Duer ve ark. tarafından 2002 yılında gerçekleştirilen çalışmada farklı yazılımlar kullanılarak camların performansları karşılaştırıldığında cam tabakaları arasındaki boşluğun 12 mm'ye kadar olduğu cam tiplerinde tüm yazılımlar ile birbirine yakın sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle değerlendirmede boşluk kalınlığı 12 mm. alınmaktadır. L değerinin pencerenin ısıl performansına etkisi Kanada'da gerçekleştirilen çalışmalardan yola çıkarak, diğer değişkenlere göre daha düşük düzeydedir [Carpenter ve ark., 1998; Bernier, 2005]. Bu nedenle L değeri, Avrupa'da gerçekleştirilen çalışmalara paralel olarak 0,1 W/mK sabit alınmıştır [Spiekman, M. ve Dijk, V.,D.,2000; Thyholt, M., Mork, T.M, 2003; Hemmila, K, 2005]. Performans göstergelerinin hesaplanmasında çevre koşulları sınır değerleri CEN normlarına göre seçilmektedir [Van Dijk, D.,2003]. Performans göstergelerinin hesaplanmasından sonra, ısı kazancının bina tarafından kullanım düzeyini ifade eden kazanç kullanım faktörünün (η) hesaplanması gerekmektedir. Bu değer TS 825 ve EN 832'de benzer yöntemle hesaplanmaktadır. (η) değerinin hesaplanmasına yönelik TS 825'te tanımlanan formülasyon aşağıda yer almaktadır. Formülasyonun detayları EK-3 'te sunulmuştur.

$$\eta = 1 - e^{(-1/KKOay)} \qquad (5.18)$$

$$KKO = (\Phi_i + \Phi_{g,ay}) / H(T_i - T_{d,ay}) \qquad (5.19)$$

KKO_{ay} : Aylık ortalama kazanç/kayıp oranı

$\phi_{i,ay}$: Aylık iç kazançlar , W

$\phi_{g,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı, W

$T_{i,ay}$: Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı, °C

$T_{d,ay}$: Aylık ortalama dış hava sıcaklığı,°C

H : Binanın özgül ısı kaybı, W/K

$$H = H_i + H_h \quad (5.20)$$

H_i : İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, W/K

H_h : Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ,W/K

$$H_i = \Sigma AU + l\, U_l \quad (5.21)$$

$$\Sigma AU = U_D A_D + U_p.A_p + 0{,}8\, U_T.A_T + 0{,}5\, U_t A_t + U_d A_d + 0{,}5 U_{dsıc} A_{dsıc} \quad (5.22)$$

U_D : Dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

U_P : Pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

U_T : Tavanın ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

U_t : Zemine oturan tabanın /döşemenin ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

U_d : Dış hava ile temas eden tabanın ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

$U_{dsıc,}$: Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

A_D : Dış duvarın alanı, m^2

A_P : Pencerenin alanı, m^2

A_T : Tavan alanı, m^2

A_t : Zemine oturan taban/döşeme alanı, m^2

A_d : Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı, m^2

$A_{dsıc}$: Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı, m^2

$$Hh = \rho.c.V_ı = \rho.c.nh\ Vh = 0{,}33\ nh.Vh \quad (5.23)$$

ρ : Havanın birim hacim kütlesi, kg/m^3

c : Havanın özgül ısısı , J/kgK

V' : Hacimsel hava değişim debisi, m^3/h

n_h : Hava değişim sayısı, h^{-1}

V_h : Havalandırılan hacim, m^3

Tüm bu parametrelerin hesaplanmasından sonra g ve U değerlerinin iklim koşullarına göre etkileşimini belirleyen A ve B katsayıları elde edilerek, iklim bölgelerine göre Q_{net} değerleri hesaplanır. Sonuçlar tablo ve grafik olarak ifade edilir.

Türkiye'de 4 Derece Gün Bölgesi için konut binalarında ısıtma gerektiren dönem için uygun cam tiplerinin belirlenmesine yönelik geliştirilen hesaplama yöntemi Microsoft-Excel programında hazırlanan formülasyon yardımı ile hesaplanmaktadır.

6. ALAN ÇALIŞMASI

6.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmada Türkiye'de 4 Derece Gün Bölgesinde konut binalarında ısıtma gerektiren dönem için uygun cam tiplerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Alan çalışmasında kullanılan hesaplama yöntemi Bölüm 5.5'te açıklanmıştır.

6.2. Alan Çalışmasında Kabuller ve Sınırlar

Doktora çalışmasında ön görülen kabuller ve sınırlar aşağıda yer almaktadır:

- Model alçak katlı (bir veya iki katlı) konut binaları için geçerlidir.
- Türkiye derece gün bölgelerini karakterize eden 4 il; 1. Derece Gün Bölgesi-Antalya, 2. Derece Gün Bölgesi-İstanbul, 3. Derece Gün Bölgesi-Ankara, 4.Derece Gün Bölgesi-Erzurum olarak seçilmiştir.
- Bulunan derece gün bölgesinin ısıtma gerektiren dönem için iklimsel koşulların (dış ortam sıcaklıkları, camlı yüzeye etkiyen güneş ışınımı miktarı) ve ısıtma gerektiren dönem uzunluğunun etkisi Q_{net} hesaplamalarına dahil etmektedir.
- Performans değerlendirmesinde geçerli olan süre, ısıtma gerektiren dönemi kapsamakta, soğutma yüklerinin etkisi dikkate alınmamaktadır.
- Pencerelerde cam tabakaları arasında, dışarıda yada iç mekanda yer alabilen güneş kontrol mekanizmalarının performansa etkisi kapsam dışıdır.
- Referans binaya ait pencereler prEN 14351 (CEN, 2005) "Pencereler ve dış mekandaki kapılar" standardında belirtilen boyutlarda seçilmektedir (1,23x1,48m).
- Pencerelerin sızdırmazlık performansının yeterli düzeyde olduğu varsayılmış ve hesaplamalara dahil edilmemiştir.
- İklim verisi olarak ısıtma gerektiren dönem boyunca düşey yüzeylere gelen toplam güneş ışınımı miktarı tüm yönler ortalaması olarak

hesaplamalara dahil edilmektedir. Güneş ışınımı şiddetine ait veriler İsviçre Meteonorm-METEOTEST firmasından alınmıştır.

- Isıtma gerektiren dönem dış hava ortalama sıcaklığı, ısıtma gerektiren dönem uzunluğu, EN 832 standardında belirtilen bina kullanım faktörü (utilisation factor) değerleri hesaplamalara dahil edilmektedir.
- Güneş ışınımı kazanç katsayısı g değerlerinde ışınım geliş açısı yüzeye dik olarak kabul edilmektedir.
- Hesaplamalarda yöntem aynı olmakla birlikte, kabullerde TS 825 ile paralellik kurulmuştur. Bu bağlamda binada iç ortam tasarım sıcaklığı 19 ºC, konut binası içsel ısı kazancı 5W/m^2, EN 832'de de aynı değer kabul edilmektedir.
- Camlı yüzeylerde çevre binalardan herhangi bir gölgeleme olmadığı kabul edilmektedir. Buna göre camlı yüzlerin aylık ortalama gölgelenme faktörü, $r_{i,ay}$ 0,8 alınmaktadır.

6.3. Alan Çalışması Kapsamında Pencerenin Isıl Performansını Etkileyen Parametreler

Alan çalışması kapsamında pencerelerin ısıl performansını etkileyen parametreler üç ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlar sırasıyla;

- Binaya ait parametreler
- İklimsel parametreler
- Pencere tipleri'dir.

6.3.1. Binaya ait parametreler

Doktora çalışmasında ele alınan konut binası, sanal bir binadır. Modele yönelik hesaplamaların hassaslığı açısından diğer ülkelerde yapılan çalışmalara paralel olarak tek katlı, tek zonlu bir bina kurgulanmıştır.
Pencerelerin yıllık enerji performansına yönelik değerlendirmede incelenen referans binaya ait özellikler ve alan çalışmasında dikkate alınan kabuller

sonuçlar üzerinde önemli etkiye sahiptir. Doktora çalışmasında referans bina olarak TS 825 ile paralellik oluşturması açısından, Uluslararası Enerji Ajansı IEA, Task 27 projesinde ele alınan referans bina yerine, TS 825 örnek binasının kabuk bileşenlerine ait değerler kabul edilmiştir.

Referans binaya ait özellikler aşağıda yer almaktadır.

Konut Binasının Boyutları ;

- (10m x 10m) x h h = 2,7 m
- Taban Alanı A= 100 m^2
- Brüt Hacim V= 270 m^3

Pencere Ölçüleri ;

- (1,23m x1,48m) [prEN 14351 CEN, 2005]

Pencere Sayısı ve Yönleri ;

- Güney = 1 Pencere (1,82 m^2)
- Kuzey = 1 Pencere (1,82 m^2)
- D/B = 2 Pencere (3,64 m^2)

Bina ve Bileşenlerine Ait Özellikleri;

- Duvar= 6cm tuğla üzerine dışardan taş yünü ısı yalıtımı (λ=0,04 W/mK)
- Tavan BA. Döşeme, 12 cm (λ=0,4 W/mK)
- Zemin BA. Döşeme, 8 cm (λ=0,4 W/mK)
- U_{Duvar} = 0,47 W/ m^2K
- U_{taban} = 0,43 W/ m^2K

- U_{tavan} = 0,30 W/ m^2K [TS 825 ,2000]

Pencereler ;
38 tip pencere için performans analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen pencere tipleri Çizelge 6.6'da yer almaktadır.

Bina ısı köprüsü olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Elemanlarda yoğuşma yoktur.

Hava Değişim Sayısı ;

- η_h = 1 [TS 825 , 2000]

Gölgeleme Faktörü ;

- r_i = 0,8 Hiçbir yönde gölgeleme olmadığı varsayılmıştır.

Aylık Ortalama İç Kazanç ;

- Konut için 5 W/ m^2 [TS 825 , 2000]

6.3.2. Dış iklimsel etmenler

Alan çalışmasında ısıtma gerektiren dönem için pencerelerin ısıl performansına etki eden dış iklimsel etmenler, aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları, yönden bağımsız dik düzleme gelen toplam güneş ışınımı değerleri ve bu değerlerden türetilen ısıtma sezonu toplam güneş ışınımı değerleri ve ısıtma gerektiren dönem uzunluğudur. Söz konusu değerler aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 6.1. Türkiye Derece Gün Bölgeleri için aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları (ºC) [TS 825, 2000, EK-2]

Aylık Ortalama Dış Ortam Sıcaklıkları (ºC)				
Aylar	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
Ocak	8,0	3,3	1,3	-5,2
Şubat	9,3	4,5	2,0	-4,1
Mart	11,5	7,2	5,0	-1,3
Nisan	15,7	12,6	9,8	5,1
Mayıs	20,6	17,8	14,1	10,1
Haziran	25,4	21,9	18,1	13,5
Temmuz	28,0	24,4	21,1	17,2
Ağustos	27,2	23,8	20,6	17,2
Eylül	23,3	19,6	16,5	13,2
Ekim	18,1	14,1	11,3	6,9
Kasım	13,3	9,1	6,5	1,3
Aralık	9,4	4,9	2,6	-3,0

Çizelge 6.2. Türkiye Derece Gün Bölgeleri için ısıtma gerektiren dönem ortalama dış ortam sıcaklıkları (ºC) [TS 825, 2000]

Isıtma Gerektiren Dönem İçin Ortalama Dış Ortam Sıcaklıkları (ºC)			
1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
12,19	9,19	8,72	5,91

Çizelge 6.3. Yönden bağımsız dik düzleme gelen güneş ışınımı değerleri (MJ/m^2-Ay) [Meteonorm-METEOTEST, 2005]

Yönden Bağımsız Dik Düzleme Gelen Güneş Işınımı Değerleri (MJ/m^2-Ay)				
Aylar	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
Ocak	183,25	121,25	186,25	210,5
Şubat	252	110	204,25	252
Mart	299,5	244	282,5	324,25
Nisan	347,5	287,5	298	277,25
Mayıs	373	345,5	346,5	318,25
Haziran	365,25	365,5	350,75	344,75
Temmuz	367,75	368,75	379,75	361,5
Ağustos	363,5	361,5	374	354,75
Eylül	354,75	277,75	339,25	315,5
Ekim	311,75	238	293,75	274,5
Kasım	280,5	104,25	218,5	200,25
Aralık	220,5	118	149,75	167,25

Çizelge 6.4. Isıtma sezonu toplam güneş ışınımı değerleri (MJ/m^2-Yıl) (kWh/m^2-Yıl)

Isıtma Sezonu Toplam Güneş Işınımı Değerleri (MJ/m^2-Yıl)			
1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
1705,5	1411,65	2402,55	3060,675
Isıtma Sezonu Toplam Güneş Işınımı Değerleri (kWh/m^2-Yıl)			
1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
473,75	392,125	667,375	850,1875

Çizelge 6.5. Isıtma sezonu uzunluğu (Ms)

Isıtma Sezonu Uzunluğu (Ms)			
1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
18144	20736	25920	31104

6.3.3. Alan çalışmasında kullanılan pencere tipleri

Alan çalışmasında farklı cam tiplerinin Türkiye derece gün bölgelerindeki performansları analiz edilmekte, uygun cam tiplerinin saptanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda incelenen pencerelerde çerçeve tipi sabit tutulmuştur. İncelenen tüm pencere tiplerinde çerçeve 5 cm kesitli ahşap çerçeve olup, U değeri 2,27 W/m^{2}K'dir.

Çalışmada 38 farklı tipte cam alternatifi oluşturulmuştur. Cam 01 Çift tabakalı düz cam olup, tüm camların ısıtma gerektiren döneme ait performanslarının karşılaştırılmasında baz alınan seçenektir.

Cam seçiminde 5,6 W/m^{2}K U değerine sahip olan tek tabakalı düz cam uygulaması, ısıtma gerektiren dönemdeki performansı TS 825'de yer alan hiç bir bölge için yeterli koşulu sağlayamaması nedeniyle tercih edilmemiştir. Oluşturulan cam tiplerinde, Cam 01'den Cam 34'e kadar ki örneklerde cam tabakaları arasındaki boşluğu dolduran gaz tipi olarak hava ve argon gazı kullanılmıştır.

Kripton gazı kullanımı sadece ısı korunum düzeyi yüksek bir cam tipi olan Cam 35'te tercih edilmiştir. Isı korunum düzeyi ve güneşten ısı kazancı sağlama açısından yüksek performanslı camlar olan, antireflektif+Low-E kaplamaları bir arada kullanan Cam 36, Cam 37, Cam 38'de ise hava yerine argon gazı kullanılmıştır. Argon gazı maliyet ve performans açısından kriptona oranla daha avantajlı olması nedeniyle piyasada daha yaygın kullanıma sahiptir. Bu nedenle tez çalışmasında asal gaz kullanımı olarak argon gazı daha sık tercih edilmiştir.

Seçilen cam tipleri Avrupa genelinde pazarda en yaygın kullanıma sahip cam firması olan Pilkington'a aittir.

Avrupa'da Duer, 2000; Karlsson, 1999, 2000, 2001; Roos, 2001; Platzer, 2002, tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da Pilkington camları kullanılmıştır. Bu çalışmalarla paralellik göstermesi açısından alan çalışmasında benzer cam tipleri seçilmiştir. Cam 36, Cam 37, Cam 38 ısı korunum düzeyi ve güneşten ısı kazancı sağlama performansı yüksek cam tipleri olan, Low-E ve anti reflektif kaplama içeren cam tipleridir. Çalışmada kullanılan cam tipleri Pilkington UK., antireflektif kaplama Amaran Schott Firması ürünleridir [Ross 2001; Karlsson 2001; Rozencrantz 2005].

İncelenen pencerelerin, enerji performans göstergeleri olan U, g, T_{vis} değerleri WIS yazılımı ile CEN normlarına göre hesaplanmıştır. Alan çalışmasında incelenen camların Türkiye iklim koşullarında Q_{net} değerlerinin hesaplanmasına yönelik çalışmanın bir örneği, Cam 01 için EK-4'te sunulmuştur.

İncelenen ahşap çerçeveli cam tiplerine ait tanımlayıcı özellikler Çizelge 6.6 'da yer almaktadır.

Çizelge 6.6. Alan çalışmasında incelenen cam tiplerine ait tanımlayıcı bilgiler

Cam No:	Cam ombinasyon adı	Cam Tabakası ve Hava Boşluğunun Kalınlığı (mm)	U değeri (W/m2K)	Boşluğu dolduran gaz tipi	g değeri	T_{vis}
01	2k	4-12-4	2,9	Hava	0,76	0,82
02	2k+a	4-12-4	2,7	Argon	0,76	0,82
03	k+KEK	4-12-4	1,8	Hava	0,66	0,77
04	k+KEK+a	4-12-4	1,4	Argon	0,66	0,77
05	k+KEF	4-12-4	1,9	Hava	0,71	0,75
06	k+KEF+a	4-12-4	1,6	Argon	0,71	0,75
07	k+KES	4-12-4	1,6	Hava	0,58	0,75
08	k+KES+a	4-12-4	1,3	Argon	0,58	0,75
09	3k	4-12-4-12-4	1,9	Hava	0,68	0,74
10	3k+a	4-12-4-12-4	1,7	Argon	0,68	0,74
11	2k+KEK	4-12-4-12-4	1,4,	Hava	0,59	0,70
12	2k+KEK+a	4-12-4-12-4	1,1	Argon	0,59	0,70
13	2k+KEF	4-12-4-12-4	1,4	Hava	0,63	0,69
14	2k+KEF+a	4-12-4-12-4	1,2	Argon	0,63	0,69
15	2k+KES	4-12-4-12-4	1,3	Hava	0,53	0,68
16	2k+KES+a	4-12-4-12-4	1,0	Argon	0,53	0,68
17	KEK+k+KEK	4-12-4-12-4	1,0	Hava	0,49	0,66
18	KEK+k+KEK+a	4-12-4-12-4	0,8	Argon	0,49	0,66
19	KEF+k+KEF	4-12-4-12-4	1,0	Hava	0,56	0,64
20	KEF+k+KEF+a	4-12-4-12-4	0,9	Argon	0,56	0,64
21	KES+k+KES	4-12-4-12-4	0,9	Hava	0,40	0,62
22	KES+k+KES+a	4-12-4-12-4	0,7	Argon	0,40	0,62
23	KOK+k	4-12-4	1,6	Hava	0,45	0,65
24	KOK+k+a	4-12-4	1,3	Argon	0,45	0,65
25	KOS+k	4-12-4	1,6	Hava	0,27	0,42
26	KOS+k+a	4-12-4	1,2	Argon	0,27	0,42
27	KOK+2k	4-12-4-12-4	1,3	Hava	0,41	0,60
28	KOK+2k+a	4-12-4-12-4	1,0	Argon	0,41	0,60
29	KOS+2k	4-12-4-12-4	1,3	Hava	0,25	0,39
30	KOS+2k+a	4-12-4-12-4	1,0	Argon	0,25	0,39
31	KOK+k+ KEF	4-12-4-12-4	1,0	Hava	0,38	0,55
32	KOK+k+ KEF+a	4-12-4-12-4	0,8	Argon	0,38	0,55
33	KOS+k+ KEF	4-12-4-12-4	1,0	Hava	0,24	0,36
34	KOS+k+ KEF+a	4-12-4-12-4	0,8	Argon	0,24	0,36
35	k+KEK+KEF+kr	4-12-4-12-4	0,8	Kripton	0,56	0,64
36	k+ KEF-AR +a	4-12-4	1,6	Argon	0,78	0,83
37	k-AR+KEF-AR+a	4-12-4	1,6	Argon	0,83	0,89
38	k -AR +KEF-AR+ k-AR +a	4-12-4-12-4	1,2	Argon	0,69	0,82

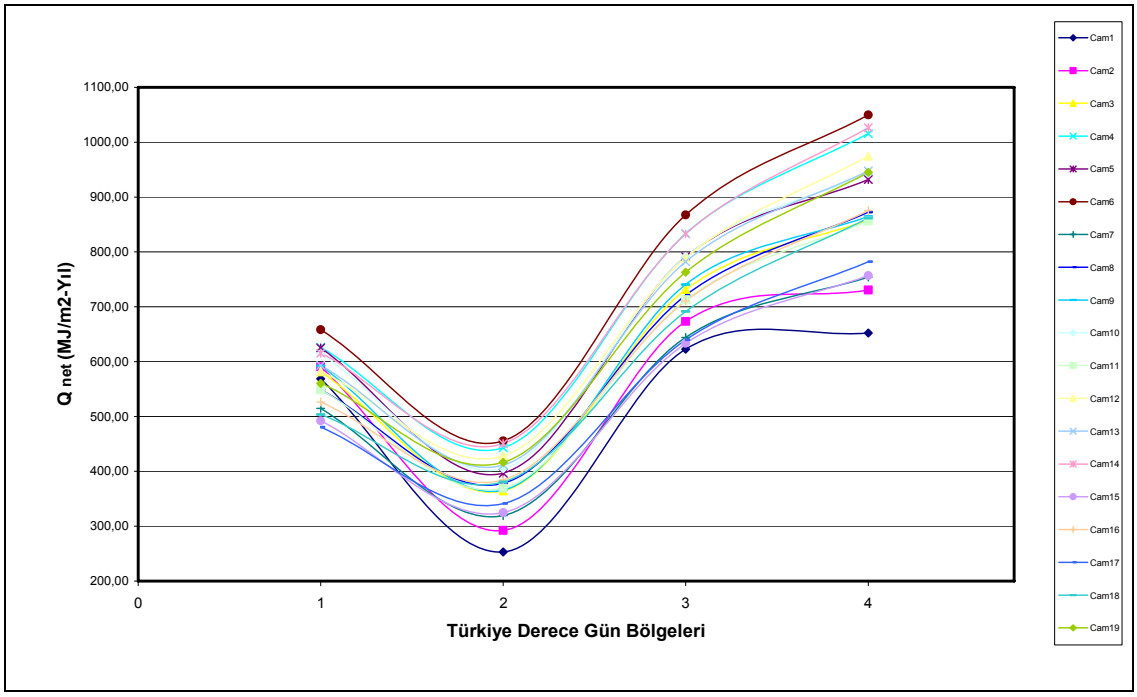
Çizelge 6.6. (Devam) Alan çalışmasında incelenen cam tiplerine ait tanımlayıcı bilgiler

Kısaltma	Pilkinton cam tipi	Kaplama malzemesi içeriği	Kaplama kalınlığı (nm)	Emissivite Değeri (ε)
k	Düz cam			0,84
KEK	Kappa Enerji Clear	SnO_2/Ag/ SnO_2	40/20/40	0,08
KEF	Kappa Enerji Float	SnO_2 / F	300	0,15
KES	Kappa Enerji S	TiO_2/Ag/TiO_2	40/30/40	0,10
KOK	Kappa Optima Clear	SnO_2/Ag/ SnO_2	45/25/35	0,05
KOS	Kappa Optima Silver	SnO_2/Ag/ SnO_2	60/25/30	0,03
AR	Anti Reflektif Kaplama (Amaran Schott)	SiO_2/ TiO_2	110/40	
a	Argon gazı dolgusu			
kr	Kripton gazı dolgusu			

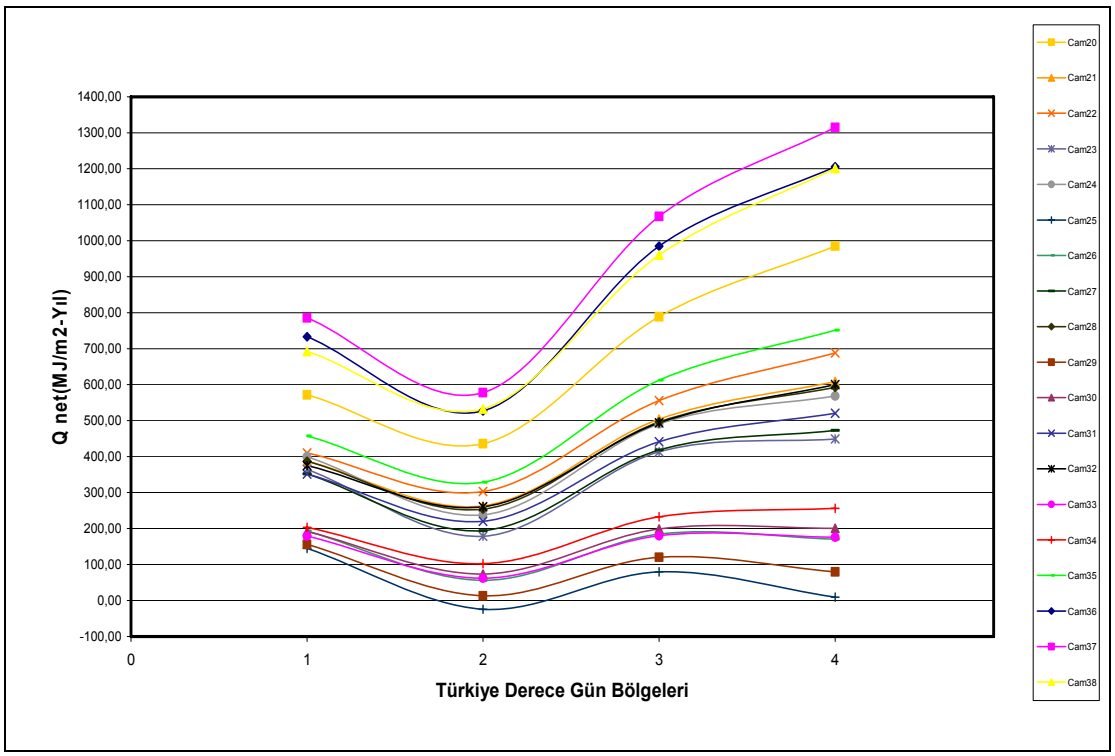
6.4. Alan Çalışmasında Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Türkiye Derece Gün Bölgelerine göre incelenen cam tiplerine ait performans değerleri Çizelge 6.7 'de verilmektedir. Türkiye Derece Gün Bölgelerinde incelenen cam tiplerinin Q_{net} değerleri Şekil 6.1- Şekil 6.4'te yer almaktadır.

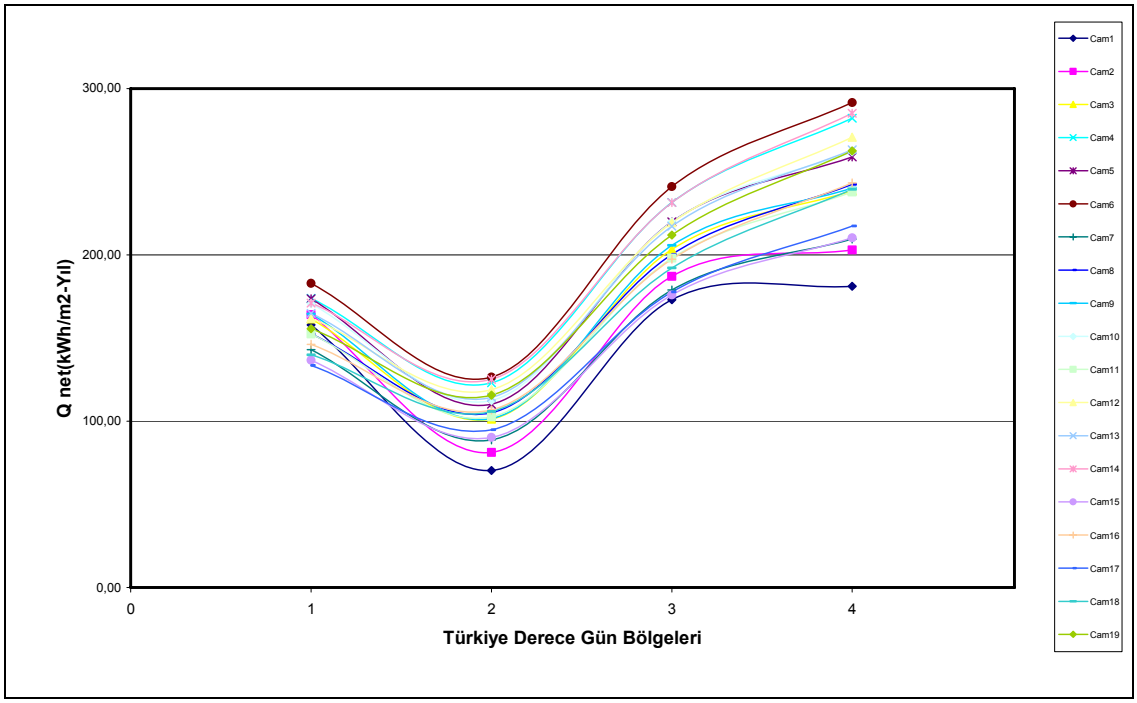
Türkiye Derece Gün Bölgelerine göre incelenen cam tiplerine ait performans değerleri EK-6'da verilmekte, Q_{net} değerlerine ait performans sıralaması yapılmaktadır. Avrupa'da gerçekleştirilen çalışmalarda sonuçlar bazı çalışmalarda MJ/m^2-yıl, bazılarında ise kWh/m^2-yıl olarak verilmektedir. Bu çalışmalarla paralellik teşkil etmesi açısından sonuçlara ait çizelge ve grafikler her iki birim sistemi için de hazırlanmıştır.



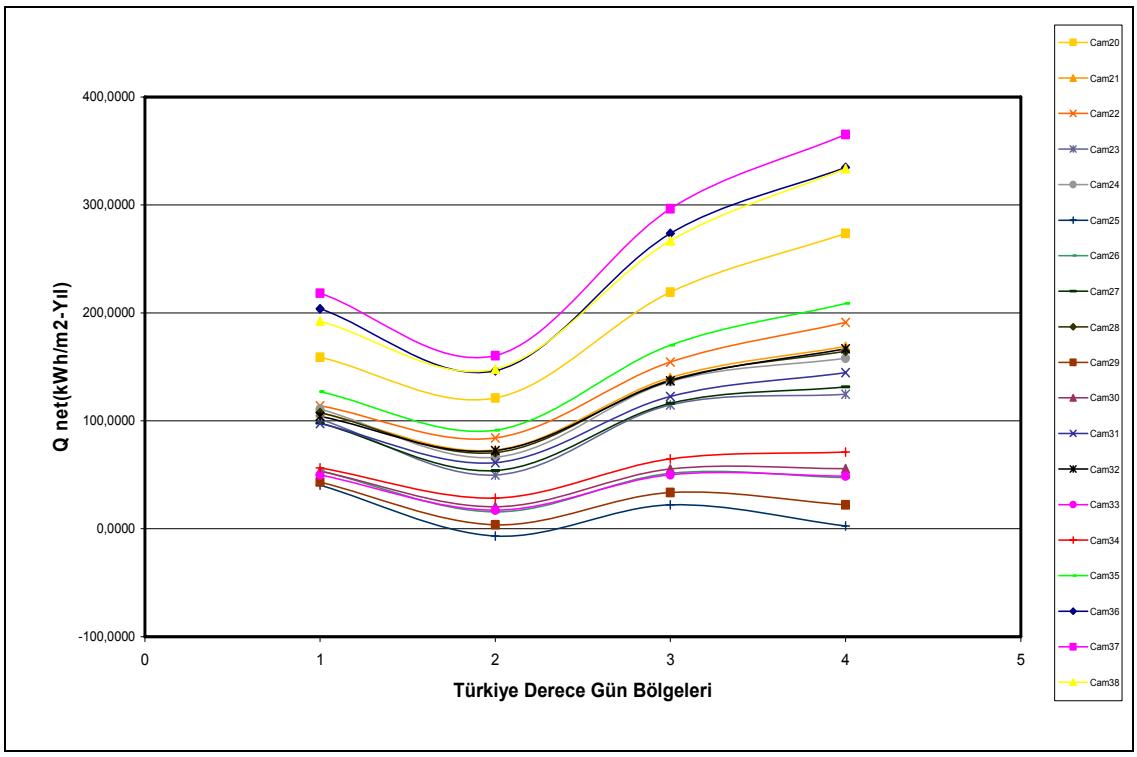
Şekil 6.1. Cam 01-Cam 19'un Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (MJ/m^2yıl)



Şekil 6.2. Cam 20-Cam 38'in Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (MJ/m^2-yıl)



Şekil 6.3. Cam 01-Cam 19'un Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (KWh/m^2-yıl)



Şekil 6.4. Cam 20-Cam 38'in Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (KWh/m^2-yıl)

Sonuçlar incelenen pencere tiplerinin Türkiye koşullarında ısıtma gerektiren dönemde ısı kazancı sağladığını göstermektedir. Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir. Sonuçların Avrupa iklim koşulları ile karşılaştırılması açısından, Avrupa EWERS projesi kapsamında 2003 yılında hazırlanan raporda Avrupa'nın farklı kentlerine ait iklim verileri ve çift cam için A ve B katsayıları Çizelge 6.7'de gösterilmektedir. Alan çalışmasına ait değerler Çizelge 6.8'de belirtilmektedir.

Çizelge 6.7. Avrupa'nın Farklı Kentlerine Ait İklim Verileri,Çift Cam İçin, η_g, A, B Katsayıları [Thyholt, M., Mork, T.M,2003]

Bölge	Isıtma Dönemi ortalama sıcaklık ºC	Isıtma Dönemi Toplam Güneş Işınımı Şiddeti (MJ/m2)	η_g	Isıtma sezonu uzunluğu (gün)	A	B
Oslo	1.5	925	0,99	243	578	346
Bergen	5.1	858	0,98	247	531	275
Kautokeino	-5.5	1059	1,00	314	666	638
Hollanda (iç kesimler)	4,7	638	0,98	183	395	211
Hof (Almanya)	-0,1	893	0,99	270	887	422
Hamburg	4,1	545	0,98	215	536	258
Roma	8,6	637	0,85	103	340	83
Olbia (Sardunya)	10,1	142	0,76	40	68	27
Manchester	6,0	858	0,98	247	531	275
Aberdeen	4,8	1059	1,00	314	666	638

Çizelge 6.8. Türkiye'de Farklı Kentlerine Ait İklim Verileri,Çift Cam İçin, η_g, A, B Katsayıları

Bölge	Isıtma Dönemi Ortalama Sıcaklık ºC	Isıtma Dönemi Toplam Güneş Işınımı Şiddeti (MJ/m2)	η_g	Isıtma sezonu uzunluğu (ay)	A	B
Antalya	12,19	1705,5	0,725	7	343,37	123,64
İstanbul	9,19	1411,65	0,805	8	315,7	203,47
Ankara	8,72	2402,55	0,779	10	519,84	266,46
Erzurum	5,91	3060,675	0,805	12	684,57	407,20

Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8'de yer alan değerler incelendiğinde Türkiye iklim koşullarında ısıtma gerektiren dönemin ağırlıklı olduğu, ısıtma gerektiren dönem için ortalama sıcaklık değerlerinin Avrupa'ya göre Erzurum'da dahi Kuzey Avrupa Ülkeleri'den yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye iklim koşullarının Avrupa'dan farklılık gösterdiği en önemli nokta, güneş ışınımına ait verilerdir. Güneş ışınımı değerleri Avrupa'ya oranla çok yüksektir. Isıtma gerektiren dönem için toplam güneş ışınımı şiddetine ait değerler, ısıtma gerektiren tüm ayların toplamı olması sebebiyle yüksek çıkmaktadır. Bu durum özellikle yıl boyu ısıtma gerektiren Erzurum ilinde dikkat çekici boyuttadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, iklim verilerinin elde edilmesi aşamasında Türkiye için ısıtma gerektiren döneme ait derece gün değerlerinin bulunmayışıdır. Bu durum sonuçların hassaslığını etkilemekle birlikte, güneş ışınımı şiddetinin Avrupa'ya oranla çok yüksek olması, referans binanın yalıtım değerlerinin TS 825'e göre alınması, pencere boyutlarının tüm yönler için standard CEN normlarında alınması (ısı kayıplarını azaltması açısından) totalde pencerenin Q_{net} değerlerinde tüm bölgeler için kazanç sağlamasının nedenidir. Q_{net} değerleri grafiklerde görüldüğü üzere Cam 25 haricinde tüm bölgelerde pozitiftir.

Q_{net} değerlerinin iklim bölgelerine göre değişimini inceleyen grafiklere bakıldığında özellikle 4. Derece Gün Bölgesinde pencere tipleri arasındaki ısı kazancı açısından performans farkının fazla olduğu görülmektedir. G değeri yüksek, U değeri düşük olan cam tipleri bu bölgede özellikle yüksek performans göstermektedir. Bunun nedeni Erzurum ilinin ısıtma gerektiren dönemde güneş ışınımı şiddetinin yüksek olmasıdır. Güneş ışınımı değerleri açısından 2. Derece Gün Bölgesini karakterize eden il olan İstanbul'da ise bu değerler, diğer bölgelere nazaran daha düşüktür. Isıtma gerektiren dönem uzunluğunun Erzurum'a oranla daha kısa olması nedeniyle iki bölge arasındaki fark daha da açılmaktadır. Antalya iline ait aylık güneş ışınımı değerleri Erzurum'dan fazla olmasına karşın, kazançların tüm ısıtma sezonu boyunca hesaplamalara katılması ve sezon süresinin yedi ay olması nedeniyle, kazançlar Erzurum'da daha düşük olmaktadır. Ankara ilinde ise,

güneş ışınımı değerleri İstanbul'dan daha yüksek seyretmekte, ısıtma gerektiren dönem uzunluğunun 10 ay olması nedeniyle camların ısı kazancı sağlama performansı yine İstanbul ilinden daha yüksek olmaktadır. Ancak bu değerler Erzurum'da daha fazladır. Performans sıralamaları Ek-5'de yer almaktadır.

Alan Çalışmasında Cam Tiplerine Ait Elde Edilen Sonuçlar

- Seçilen örnekler incelendiğinde Türkiye koşullarında sert tip (hard-pyrolitic) Low-E (ε ≥0,10) kaplamaların yumuşak tip (soft) Low-E (ε ≤0,08) kaplamalara oranla belirgin düzeyde yüksek performans gösterdikleri görülmektedir. Emissivite değerinin düşmesi U değerini azaltmakla birlikte g değerini de önemli oranda düşürmesi nedeniyle, yumuşak tip (soft) Low-E (ε ≤0,08) kaplamalar Türkiye'de konut binaları için uygun değildir.

- Performans açısından incelenen camlar arasında en yüksek performans çift tabakalı, cam tabakaları arasındaki boşlukta argon gazı içeren, dış katman anti reflektif kaplamalı düz cam, iç katman sert Low-E kaplama (ε= 0,15) üzerine anti reflektif kaplama içeren Cam-36 ya aittir. Bu cam tipinde emissivite değeri 0,15 olup her iki tabakada da uygulanan anti reflektif kaplama sayesinde g değeri ve T_{vis} değeri çift tabakalı düz camdan da yüksek olan bir cam tipi elde edilmiştir. Performans artışı g değeri yüksek olan sert Low-E kaplamanın, her iki tabakada da antireflektif kaplama ile birlikte kullanılması sonucu sağlanmıştır. Bu cam tipi Cam-01 e göre %101.6 daha yüksek performansa sahiptir.

- Cam 25 çok düşük emissivite değerine (ε= 0,03) sahip olan gümüş esaslı kaplama içeren güneş kontrol camıdır. Bu örnek 2. Derece Gün Bölgesinde ısıtma gerektiren dönemde negatif performans göstermektedir.

- Antireflektif kaplama uygulaması U değerini değiştirmemekte ancak g değerini ve T_{vis} değerini belirgin ölçüde arttırmaktadır. Türkiye gibi ısıtma

gerektiren dönemde güneş enerjisi girdileri yüksek olan iklim koşullarında sert Low-E kaplamalı (ε= 0,15) cam üzerine anti reflektif kaplama uygulaması performansı önemli ölçüde arttırmaktadır.

- Antireflektif kaplamanın performans açısından en avantajlı olduğu uygulama çift tabaka cam üzerine (iç tabaka sert Low-E kaplamalı) uygulandığı çözümlerdir. Üç tabakası da antireflektif kaplama içeren, ilk iki tabaka sert Low-E kaplamalı örnek olan Cam 38 T_{vis} değeri yüksek olmasına rağmen g değeri açısından daha düşük performansa sahiptir. Dolayısı ile çift tabakalı, her iki tabakada da antireflektif kaplama içeren iç tabaka Low-E kaplamalı çift cam uygulamaları Türkiye koşulları için daha avantajlı durumdır.
- Antireflektif kaplamalı camlardan sonra en yüksek performansa sahip cam tipi antireflektif kaplama içermeyen çift tabakalı iç tabaka sert Low–E kaplamalı (ε= 0,15) cam tabakaları arasında argon gazı olan Cam 06'dır.

- Çift tabakalı, iç tabaka sert Low–E kaplama içeren (ε= 0,08) değerine sahip, cam tabakaları arasında argon gazı olan Cam-04, Cam-06'ya göre U değeri daha düşük olmasına karşın ε değerinin 0,08 olması nedeniyle daha düşük g değerine sahiptir. Dolayısı ile performans olarak g değerinin yüksek olması güneşten ısı kazancı sağlama açısından Türkiye koşullarında U değerinin düşük olmasından daha önceliklidir.

- Performans açısından üç tabakalı, en içteki tabaka Low –E Kaplama içeren (ε= 0,15) cam tabakaları arasında argon gazı olan, Cam 14 üçlü camlar arasında en yüksek performansa sahip uygulamadır. Ancak üç tabakalı cam kullanılması U değerini düşürmekle birlikte g değerini de azaltmaktadır. Bu nedenle performans açısından çift tabakalı Low-E uygulamaları daha iyi çözümlerdir.

- Çalışmada kullanılan hesaplama yöntemi, ısıtma gerektiren dönem süresi boyunca güneşten ısı kazancını hesaplamalara katmaktadır. Bu

durumda ısıtma gerektiren dönem süresi en uzun olan 4. Bölge, hesaplamalarda güneş girdilerinden en fazla etkilenen bölgedir. İklim verileri incelendiğinde Erzurum ili ısıtma gerektiren dönem boyunca en soğuk il olmasına rağmen, özellikle kış aylarında güneşten en fazla ısı kazancı sağlama potansiyeli olan ildir. Bu nedenle Erzurum'da U değeri düşük, ama g değeri yüksek olan cam tipleri diğer bölgelere göre çok daha yüksek performans göstermektedir. Bu bölgede U değeri düşük, g değeri yüksek olan cam tipleri tercih edilmelidir.

- İkinci Derece Gün Bölgesine ait İstanbul ili, gerek ısıtma gerektiren dönem süresinin daha kısa olması, gerekse güneş ışınımı şiddetinin 4. bölgeyi karakterize eden Erzurum iline göre güneşten yararlanma açısından daha düşük performansa sahiptir. 2. Bölgeyi karakterize eden İstanbul ilinde U değeri düşük, g değeri orta düzeyde camlar yeterli olacaktır.

- Çalışmada hesaplamalar 4 derece gün bölgesinin karakterize eden 4 il için yapılmıştır. İklim koşulları açısından her derece gün bölgesine ait farklı illerin iklim verileri farklılık gösterecektir. Bu nedenle değerlendirmenin hassaslığı açısından, hesaplamalar her il için ayrı ayrı yapılmalıdır. Bu hesaplamaların yapılması için gerekli olan detaylı iklim verilerine yönelik henüz kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısı ile hassas sonuçların elde edilebilmesi için saatlik iklim verilerine ve ısıtma gerektiren dönem için derece saat sürelerinin hesaplanmasına özellikle gerek duyulmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doktora tezi kapsamında Türkiye derece gün bölgelerinde, alçak katlı konut binalarında, ısıtma gerektiren dönemde farklı camların ısıl performansları karşılaştırılmış, uygun cam tipleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, Türkiye derece gün bölgelerinde konut binalarında camlar ve pencereler için enerji derecelendirme sisteminin geliştirilmesine baz oluşturabilecek sonuçlar elde edilmiştir.

Isıtma gerektiren dönemin dominant olduğu bölgelerde, içsel ısı kazancı düşük olan konut binalarında, ısıtma gerektiren dönemde güneşten ısı kazancı sağlamak ve ısı kayıplarını minimuma indirmek esastır. Türkiye'de konuya ilişkin standard olan TS 825'te pencerelerin derece gün bölgelerine göre enerji performansları, pencerenin ısı geçirme katsayısı olan U değerine bağlı tek bir parametre çerçevesinde değerlendirilmektedir. Yurt dışında gerçekleştirilen bilimsel çalışmalarda, soğuk ve güneşli gün sayısı Türkiye'ye oranla daha az olan kuzey ülkelerinde dahi, konut binalarında güneşten ısı kazancının değerlendirilmesine olanak tanıyan, g (güneş ısısı kazanç katsayısı) değeri yüksek, U değeri düşük olan cam tiplerinin kullanımına yönelik araştırma ve uygulamalar yapılmaktadır. Pencerelerin iklim bölgelerine göre değişim gösteren enerji performansının belirlenmesi ve uygun seçeneklerin tercih edilmesi, bileşenlerin ısı transferi ve hava sızıntılarından kaynaklanan ısı kayıpları ve güneşten ısı kazançlarının birlikte değerlendirilmesi ile mümkündür. Bu nedenle sadece U değerine dayalı bir sınıflandırma, enerji performansı açısından doğru seçeneklerin tercih edilmesine olanak tanımamaktadır.

Doktora çalışması sonucunda konut binalarında doğru cam tercihinin yapılabilmesi için, iklim koşullarını ve performans göstergelerini dikkate alan, Türkiye için bir hesaplama yöntemi geliştirilmiştir.

Tez çalışması sonucunda Türkiye'de cam seçimine yönelik elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

İncelenen camlara ait performans sıralaması, tüm bölgelerde aynıdır. Ancak, performans açısından camların Q_{net} değerleri arasındaki fark 3., özellikle 4. Derece Gün Bölgesinde belirgin oranda artış göstermektedir. Bu farkın oluşma nedeni, bu bölgelerde ısıtma gerektiren dönem uzunluğunun fazla olması, güneş ışınımı değerlerinin ısıtma gerektiren dönem boyunca hesaplamalara katılmasıdır. 4. Derece Gün Bölgesini karakterize eden Erzurum ilinde, ısıtma gerektiren dönemde etkiyen güneş ışınımı şiddeti, 1. Derece Gün Bölgesini karakterize eden Antalya iline yakın değerlerdedir. Dolayısı ile bu sonuç normal karşılanabilir. Bu bölgeye dair genelleme yapabilmek için, Erzurum ili dışında farklı illerde de hesaplama yapılması gerekmektedir.

Türkiye'de konut binalarında ısıtma gerektiren dönem için, hiçbir bölgede üç tabakalı camlar çift tabakalı Low-E kaplamalı camlardan daha iyi sonuç vermemektedir.

Türkiye iklim koşullarında konut binalarında Low-E camların emissivite değerlerinin düşük olması U değerini düşürmekle birlikte, g katsayısını da önemli oranda azaltmaktadır. Isıtma gerektiren dönemde güneşten ısı kazancı sağlama potansiyeli fazla olan Türkiye iklimi için camların emissivite değerlerinin 0,08'in altında olması, g değerinin düşmesi paralelinde ısı kazancınının azalmasına, dolayısıyla performansın azalmasına neden olmaktadır. Emissivite değeri 0,10'un altında olan yumuşak (soft) kaplama tiplerinin Türkiye iklimi için konut binalarında kullanımı uygun değildir. Bu tip kaplamalar yerine emissivite değeri 0,15 olan sert (hard) tipteki Low-E kaplamaların kullanımı tercih edilmelidir.

Son yıllarda cam teknolojisindeki gelişme paralelinde, yeni kaplama tipleri geliştirilmiştir. Düşük demir içerikli antireflektif kaplamalar, gerek düz cam,

gerekse Low-E camların boşluğa bakan yüzeylerinde uygulanmakta, güneş ışınımının görülebilir alan (ışık) ve kısa dalga kızılötesi kısımlarını geçirme yeteneklerinin yüksek olması paralelinde, konut binalarında ısıtma gerektiren dönemde performansı önemli oranda arttırmaktadır. Türkiye iklim koşullarında özellikle 4. Derece Gün Bölgesindeki illerde çift tabakalı, Low-E ve antireflektif kaplamaların birlikte kullanılması camların performanslarını yükseltmektedir. Bu tip kaplamaların üç tabakalı camlarda kullanılması halinde performans artışı sınırlıdır.

Doktora tezi çalışmasında, camların ısıl performans analizlerinde hesaplamaların hassaslığı, hesaplamalarda kullanılan verilerin hassaslığı ile doğrudan ilişkilidir. Performans analizlerinde net sonuçlar alınabilmesi için, camların, her bir cam tipi için, incelenen iklime göre yıl bazında saatlik olarak açıya bağlı değişim gösteren g katsayılarının hesaplanması, güneş ışınımı, dış ortam sıcaklıkları, ısıtma gerektiren dönem süresinin saatlik bazda hesaplamalara katılması gerekmektedir. Türkiye'de bu konulara ait gereken detayda bilimsel veri tabanı bulunmamaktadır.

Bina enerji performansını etkileyen bileşenler arasında öncelikli konumda olan camlı yüzeylerin hassas ısıl performans analizlerinin gerçekleştirilmesine yönelik veriler, bina enerji simülasyonlarında da hassas, net sonuçların alınmasına olanak tanıyacaktır. Konuya yönelik detaylı çalışmanın, mimar, makine mühendisi ve fizik mühendisinden oluşan bir ekip çalışması ile ivedikle gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Tez çalışması alçak katlı konut binalarında ısıtma gerektiren dönem için uygun cam tiplerinin seçilmesi ile sınırlandırılmıştır. Türkiye iklim koşulları incelendiğinde konut binalarında ısıtma yükünün daha öncelikli olduğu görülmektedir. Ancak pencerenin yıllık enerji performansının analizinde özellikle 1. Derece Gün Bölgesinde yer alan illerde soğutma gerektiren dönem için de performans analizinin yapılması gerekmektedir.

Bu amaçla, doktora tezi çalışması sonrasında, Türkiye illeri için farklı cam tiplerinin ısıtma ve soğutma gerektiren dönemde saatlik performans analizini gerçekleştirebilen bir yazılımın hazırlanmasına yönelik çalışmalar yapılabilir. Ancak bu aşamadan sonra, konut binaları için sağlıklı bir derecelendirme sisteminin geliştirilmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Ayçam, İ., Pencerelerin Isıl Performansının Arttırılmasına Yönelik İyileştirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 5,42-52, 57,75, 140 (1998).

ASHRAE, "Handbook: Fundamentals, Chapter 29, Fenestration" ***American Society Of Heating, Refrigerating And Air Conditioning Engineers, Inc.,*** Atlanta Ga, USA,1-23 (1997).

ASHRAE, "Handbook: Fundamentals, Chapter 30, Fenestration" ***American Society Of Heating, Refrigerating And Air Conditioning Engineers, Inc.,*** Atlanta Ga, USA, 1-5 (2001).

Avasoo, D., "Energy Efficient Windows and European Commissions Action Plan" ,***Glass Processing Days 2001***, Tampare, Finland, 660-662 (2001).

Avasoo, D., EWERS P1-T1 Task Report, "European Window Energy Rating System EWERS. The Future European, National Or International Standard?" European Window Energy Rating System, ***Technical University Of Denmark-DTU***, Denmark, 1-9 (2002).

Bernier M., Halle S., "A Critical Look At The Air Infiltration Term In The Canadian Energy Rating Procedure For Windows", ***Energy and Buildings,***UK, 37: 997-1006 (2005).

Bülow-Hübe, H., "Energy Efficient Window Systems", Doctoral Thesis, Lund University, ***Lund Institute of Technology, Division of Energy and Building Design,*** Lund, Sweden, 40-76 (2001).

Carpenter, S. C., Alexander, P.E. G,. McGowan, P. E. Steven, R. Miller," Window Annual Energy Rating Systems: What They Tell Us About Residential Window Design and Selection"*,* ***ASHRAE Transactions***, USA, 806-813 (1998).

Crooks, B., Larsen, J., Sullivan,R., Aresteh, D., Selkowitz, S., "NFRC Efforts to Develop A Residential Fenestration Annual Energy Rating Methodology", ***Window Innovations Conference,*** Ontario, Canada, 1-17 (1995).

Duer, K., "Characterisation of Advanced Windows. Determination of Thermal Properties By Measurements", Doctoral Thesis, ***Technical University of Denmark -DTU,*** Denmark, 2-28 (2001).

Duer, K., Svendsen, S., Mogensen, M., "Energy Labelling of Glazings and Windows in Denmark: Calculated and Measured Values*",* ***Solar Energy,*** UK, 73(1):, 23-31 (2002).

Duer,K., Svendsen, S., Technical Report, ISSN 1396-402X, The Energy Properties of Glazings and Windows: Analysis of Calculated and Measured Energy Properties of Windows, ***Technical University of Denmark -DTU, DTU Publication*** , Denmark, 6-9 (2000).

Duffie, J. A., Beckman, W. A., "Solar Energy of Thermal Processes, 2 nd ed.", ***Wiley***, US, 733-735 (1991).

EN 14438 Glass in Building-Determination of Energy Balance Value-Calculation Method, ***CEN,*** 1-15 (2002).

EN 410. Glass in Building - Determination of Light Transmittance, Solar Direct Transmittance, Total Solar Energy Transmittance, Ultraviolet Transmittance and Related Glazing Characteristics., ***CEN,*** 2-3, (1998).

EN 673. Glass in Building - Determination of Thermal Transmittance (U value) - Calculation Method, ***CEN***, 7-11 (1997).

Hemmila, K., Experiences of Piloting Energy Rating System in Finland , ***Glass Processing Days 2005***, Finland, 1-3 (2005).

Huang, J., Mitchel, R., Arashteh,D., Selkowitz,S., Residential Fenestration Performance Analysis Using RESFEN 3.1 –LBNL Report-42871, ***Lawrance Berkeley National Laboratory,*** USA, 1-3 (1999).

International Standard ISO 9050. Glass in Building - Determination Of Light Transmittance, Solar Direct Transmittance, Total Solar Energy Transmittance And Ultraviolet Transmittance And Related Glazing Factors, **ISO**, 32 (1990).

International Standard ISO/CD 15099. "Thermal Performance of Windows, Doors and Shading Devices – Detailed Calculations*", **ISO,*** 24-26 (2000).

International Standard ISO/DIS 10077-1: "Thermal Performance Of Windows, Doors And Shutters-Calculation Of Thermal Transmittance, Part 1: Simplified Method", ***ISO,*** 5-6 (2000).

International Standard ISO/DIS 10077-2: "Thermal Performance Of Windows, Doors And Shutters-Calculation Of Thermal Transmittance, Part 1: Numerical Method For Frames", ***ISO***, 3-8 (2000).

Johnson, T. E. "Low-E Glazing Design Guide", ***Butterworth-Heinemann***, USA., 5,29, 67 (1991).

Karlsson, J. , Karlsson B., Roos, A., "A Simple Model For Assessing The Energy Performance Of Windows", ***Energy and Buildings***, UK, 33: 7-11 (2001).

Karlsson, J., Karlsson, B., Roos,A.,"Building And Climate İnfluence On The Balance Temperature Of Buildings", ***Building and Environment***, UK, 38(1): 3-14 (2003).

Karlsson, J., Roos,A., Evaluation Of Window Energy Rating Models For Different Buildings And Climates, Proceedings, ***ISES, 2001***, Adelaide, Australia, 1-8 (2001).

Karlsson, J., Roos,A., "Modelling The Angular Behaviour Of The Total Solar Energy Transmittance Of Windows*",* ***Solar Energy****,* UK., 69 (4): 4 (2000).

Karlsson, J., "Windows – Optical Performance And Energy Efficiency", Doctoral Thesis, ***Uppsala University, Dept. of Solid State Physics***, Uppsala, Sweden, 18-39 (2001).

Koçlar, Oral,G., "Appropriate Window Type Concerning Energy Consumption For Heating", ***Energy and Building***, UK, 32: 95-100 (2000).

Lorentzen., C.A., "The New Danish Glass Descriptive Code: Energy Labelling", *Proceedings,* ***Glass Processing Days 2001***, Tampare, Finland 612-615 (2001).

Lowe,R., Oreszcyn,T., Robinson, P., " Review Of Existing Rating Systems And Outline If A Possible System For The UK", ***BFRC Publications***, UK, 5:1-8 (1999).

Lowe, R., "What Do European Standards Have To Say About Coefficients And Structure Of An Annual Rating Equation", ***BFRC Publications*****,** UK, 8:2-11 (1999).

Lyons, P., Window Rating Lessons from Around the Globe, ***Home Energy Magazine,*** October, Australia, 3:1-12 (1998).

Maccari, A., Zinzi, M., "Simplified Algorithms For The Italian Energy Rating Scheme For Fenestration İn Residential Buildings", ***Solar Energy****,* UK, 69:75-92 (2000).

NFRC, National Fenestration Rating Council Update, ***NFRC Publications*****,** US., 9(2):1-30 (2000).

Nielsen,T.R., Svendsen, S., Determination Of Net Energy Gain From Glazings And Windows, ***Proceedings, Eurosun, 2000***, Copenhagen, Denmark, 11- 15 (2000).

Nielsen,T.R., Duer, K. Svendsen, S., Energy Performance of Glazing and Windows, ***Solar Energy***, UK, 69: (1-6): 137-143 (2000).

Parekh, A., IEA-SHC Task 27-Subtask C- Report, Setting Window Energy Efficiency Levels In Canada, Subtask C- Report, ***Canmet Energy Technology Centre Publication***., Ottawa, Canada, 1,6 (2000).

Platzer, W.J., EWERS P2T2 Final Task Report, "Robustness of Energy Rating With Respect To Window Configuration", EWERS, European Window Energy Rating System, ***Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems-ISE***, Freiburg, Germany, 24-33 (2003).

Platzer, W.J., EWERS P3T1 Task Report, Presentation And Publicity, Task1:"Definition of Areas of Concern", EWERS,European Window Energy Rating System, ***Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems-ISE***, Freiburg, Germany, 1-7 (2002).

Platzer, W.J., EWERS P3T1 Task Report, Presentation and Publicity, Task1: "Sensitivity Analysis of Energy Rating With Respect To Building And Climate Parameters", EWERS, European Window Energy Rating System, ***Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems-ISE*****,** Freiburg, Germany, 1-16 (2002).

Rosencrantz, T., Efficient Windows and Solar Shading Devices, Evaluation Through Measurements and Simulations, Licentiate Thesis, Lund University, ***Lund Institute of Technology, Division of Energy and Building Design,*** Lund, Sweden, 37-50 (2005).

Rubin, M., Von Rottkay, K., Powles, R., "Window Optics", ***Solar Energy,*** UK. 62(3):149-162 (1998).

Selkowitz, S.E., "High Performance Glazing Systems, Architectural Opportunities For The 21st Century", Proceedings, ***Glass Processing Days***, Tampare, Finland, 466-473 (1999).

Spiekman, M., Van Dijk, D., EWERS P2.T1.Task Report, Development of Energy Rating Method, EWERS, European Window Energy Rating System, ***TNO Building and Construction Research*****,** The Netherlands, November, 1-6 (2000).

Sullivan, R., Lyons, P. ,Thomas, I. Heimanen, I. Andresen, O. Aschehoug, H. Simmler, P. Eggimann, T. Frank, "Energy simulation studies in IEA/SHC Task 18 Advanced Glazings and Associated materials for Solar and Building Applications", Proceedings, ***Window Innovations '95,*** Toronto, Canada, 11-17 (1995).

Svendsen S., Kragh, J., Laustsen,J., Energy Performance Of Windows Based On Net Energy Gain; ***Nordic Symposium on Building Physics***, Iceland, 1-8 (2005).

Svendsen, S., Jensen, J., EWERS P1-T3 Task Report, “Review Of Current Methods”, EWERS, European Window Energy Rating System, ***Technical University of Denmark-DTU***, Denmark, 1-52 (2002).

Thyholt, M., Mork, T.M, EWERS P2-T2 Final Task Report: “Test Energy Rating Method For Robustness”, EWERS, European Window Energy Rating System, ***SINTEF,*** Norway, 3-17 (2003).

Van Dijk, D., Kenny, P., Goulding, J., WIS Advanced Windows Information System- Wis Reference Manual 2nd Edition, ***TNO Building and Construction Research, The European Commission, JOULE II Programme, Energy Utilisation and Conservation,*** The Netherlands, September , 6-15 (2002).

Van Dijk, D., WIS, WINDAT Thematic Network, Advanced Windows Information System- Wis Examples Of Windows As Input For WIS., ***TNO Building and Construction Research, The European Commission*****,** The Netherlands, November, 1-18 (2003).

Wilberforce, R. Building Regulations for Windows in European Countries, ***BFRC Publication***, UK, 3: 1-5 (2005).

EKLER

EK-1 Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

Binalarda pencere bileşenlerinin termofiziksel ve optik özellikleri hesaplama yöntemleriyle bulunmaktadır. Bu yöntemler şu anda piyasada bulunan çoğu cam tipi için geçerlidir. Camlar için uluslarası ve bölgesel standardlarla belirtilmiş olan hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır [EN 410, EN 673, ISO 9050, EN10077-1 ASHRAE 1997, 2001].

Pencerelerden gerçekleşen ısı transferine ve ısı kazancının hesaplanmasına yönelik temel kavramlar ve hesaplama yöntemleri aşağıda yer almaktadır [Duer, 2001].

Penerelerden ısı transferi iki şekilde gerçekleşmektedir

1. Güneş enerjisinin camdan geçişi
2. İç ve dış sıcaklık farklılığından dolayı camdan olan ısı transferi

İki enerji akışı da aynı doğrultuda olabileceği gibi şartlara bağlı olarak farklı yönlerde de olabilir. Dış ortam sıcaklığının iç ortam sıcaklığından düşük olduğu ısıtma gerektiren dönem koşulları için ısı transferi iç ortamdan dış ortama doğru gerçekleşmektedir.

Camların ısıl özellikleri açıklayabilmek için güneş enerjisinden ve sıcaklık farklılığından doğan enerji akışını ayrı ayrı incelemek gerekir. Buna göre camın net ısı kazancı:

$$Q_{net} = Q_{solar} - Q_{\Delta T} \quad (1)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada Q_{solar} güneş ışınımından dolayı binaya giren ısı akışını ve Q_{dT} iç-dış ortam sıcaklık farkından kaynaklanan ısı akışını simgelemektedir. Enerji ihtiyacını mimimuma indirgemek için Q_{solar} mümkün

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

olduğunca büyük, Q_{dT} ise mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Bu sayede cam ısıtma sezonunda enerji kullanıcısı yerine enerji sağlayıcı olarak görev alır. Bu durum şu anda kullanılan camların mümkün olduğu kadar güney yönelimli olarak kullanılması ile de sağlanabilir. Camın güneş ışınımı enerji kazancına göre karakterize edildiği özelliğe; camın toplam güneş enerjisi geçirgenliği ya da güneş ısısı kazanç katsayısı (g-değeri) denmektedir. Sıcaklık farkından dolayı camdan olan ısı akışı ise; camın ısıl geçirgenliği ya da U-değeri olarak adlandırılmaktadır.

Kararlı hal koşullarında camdan olan birim alan başına net ısı kazancı(Q_{net}) aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$Q_{net} = g.G - U\ \Delta T_n \qquad (2)$$

Burada g toplam güneş ışınımı enerji geçirgenliğini, G güneş ışınım şiddetini, U camın ısıl geçirgenliğini ve dT_n de iç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık farkını ifade etmektedir.

Pencerenin Isı Geçirgenlik Katsayısının Hesaplanması, U_w-değeri

Bu kısımda U_w değeri olarak ifade edilen camın ısıl geçirgenliği en yaygın enerji performans parametresidir. U_w değeri camların kenar, cam tabakası ve çerçevelerinin U değerlerinin bilinmesi halinde elde edilebilir. U_w-değeri bu kısımların kendi U değerlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Bu ortalama değer çeşitli yöntemlerle hesaplanabilir.

Kuzey Amerika'da aşağıdaki yöntem kullanılmakta olup, Şekil 1'de ifade edilmektedir [ASHRAE 1997,2001]:

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

$$U_{w,US} = \frac{U_{center}A_{center} + U_{edge}A_{edge} + U_{frame}A_{frame}}{A_w} \quad (3)$$

U_{center} : Cam tabakanın merkezinin ısıl geçirgenliği, W/m^2K

A_{center} : Cam tabakanın merkezinin alanı, m^2

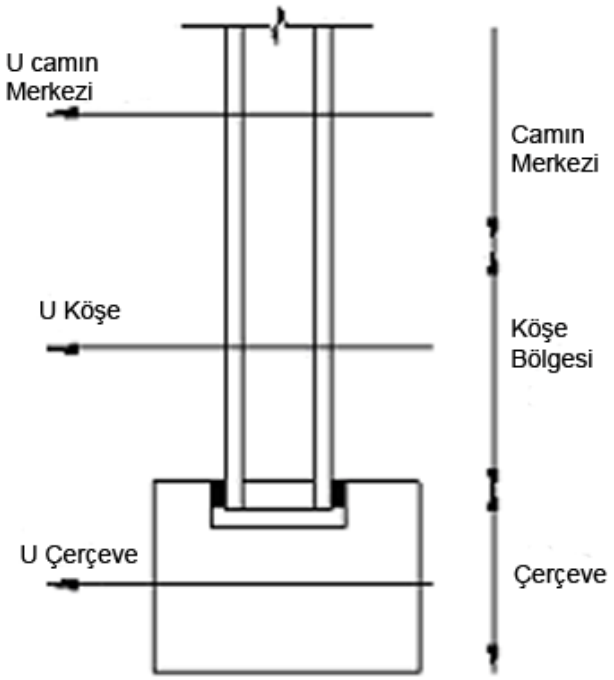
U_{edge} : Cam tabakanın köşesinin (çerçeveden merkezin 63,5mm yakınına olan kısım) ısıl geçirgenliği, W/m^2K

A_{edge} : Köşe alanı , m^2

U_{frame} : Çerçevenin ısıl geçirgenliği ,W/m^2K

A_{frame} : Çerçeve alanı, m^2

A_w : Cam alanı, m^2



Şekil 1.1. Kuzey Amerika için cam bölümlemesi [Duer,2001]

CEN-Standardlarında (EN10077-1, 2000) farklı bir yöntem kullanılmıştır (Şekil1.2).

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

$$U_{w,CEN} = \frac{U_{center} A_g + U_{frame} A_{frame} + l_g \psi_g}{A_w} \quad (4)$$

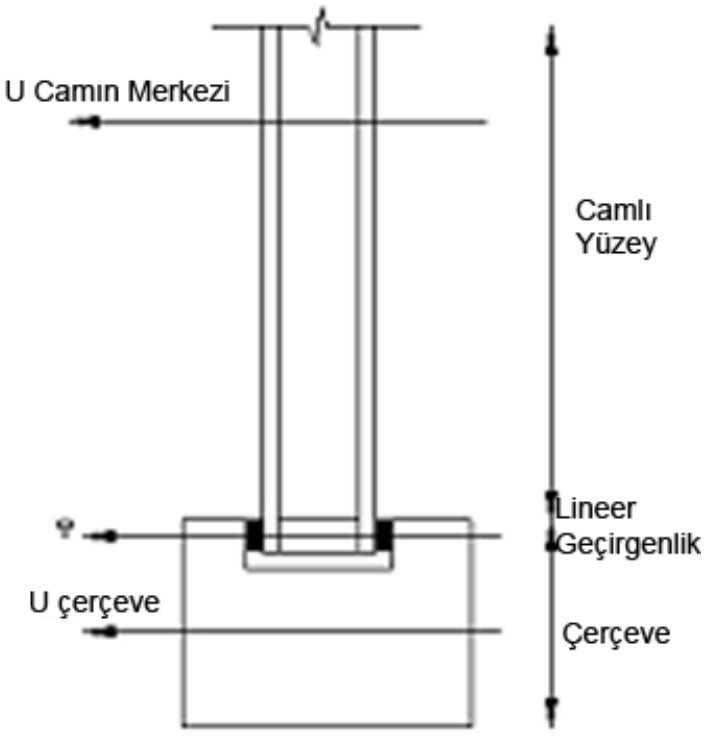
A_g : Cam tabakanın alanı,m^2

l_g : Cam tabakanın çevresi, m

ψ_g : Cam tabaka, boşluk ve çerçevenin ısıl etkilerinin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan doğrusal ısıl geçirgenlik, W/mK

l_g : Cam tabakasının görünen kısmının çevresi, m

ψ_g Değeri camın köşesinden metre başına olan ısıl geçirgenliği ifade etmekte ve cam tabakanın köşesinin ısı geçirgenliğine olan etkisini ölçmektedir. ψ ve U-değerleri çeşitli kaynaklardan ve standardlardan ya da simülasyon programlarından (WIS, Winslo, Glad99, vb.) elde edilmektedir.



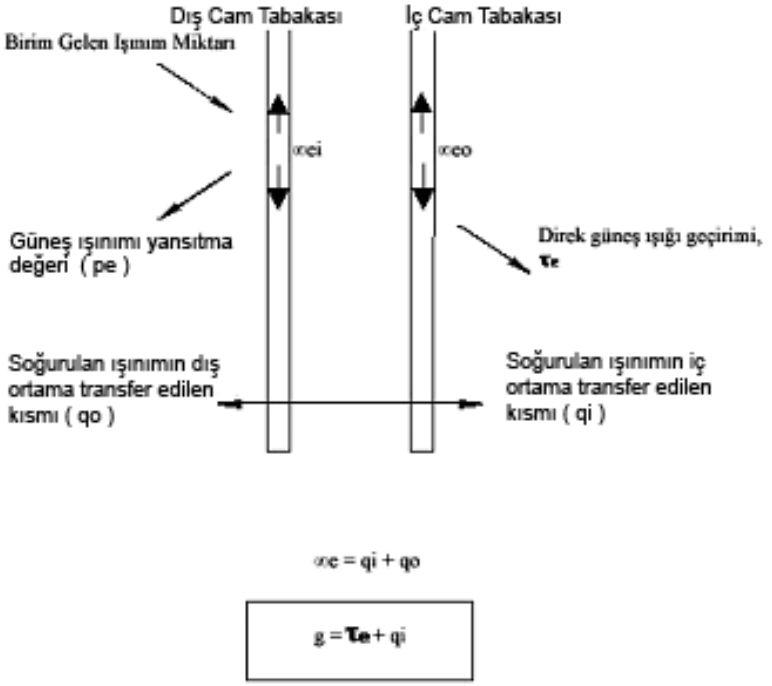
Şekil 1. 2. CEN-Standardları için cam bölümlemesi [Duer, 2001]

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

Camların Optik Özelliklerine Yönelik Hesaplamalar

Doğrudan güneş ışınımı geçirgenlik değeri, τ_e

Cam tabakasının doğrudan güneş iletimi güneş ışınımının camdan geçtikten sonraki ve geçmeden önceki güneş ışınımı akıları arasındaki orandır. Doğrudan güneş geçirgenliği; camdaki yansıma, soğurma ve geçirilmesinin bir sonucudur. Şekil1.3 de bir cam tabakasındaki güneş ışınımının iletimi gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Güneş ışınımının çift cam tabakasından iç ortama transferi [Duer,2001]

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

Yansıyan, soğurulan ve geçirilen ışınım miktarları cam tipine bağlıdır ve camın yansıma (ρ_e), soğurma (α_e) ve geçirme (T_e) karakterleri olarak adlandırılır. e olarak verilmiş olan alt indis, standard güneş ışınımı için optik özellikleri ifade etmektedir. Bu üç ifade arasındaki ilişki:

$$\alpha_e+\rho_e+T_e=1 \quad (5)$$

Doğrudan güneş iletimi CEN ve ISO Standardlarında gösterilmektedir [EN 410 ,1998], [ISO 9050, 1990].

Toplam güneş enerjisi geçirgenliği , g-değeri

Camın toplam güneş enerjisi geçirgenliği olan g-değeri, güneş ışınımı kazanç katsayısı olarak bilinmekte ve bileşen yüzeyine gelen güneş enerjisinin bileşenden geçen toplam güneş enerjisi miktarına olan oranını ifade etmektedir. Bir bileşenin toplam güneş enerjisi geçirgenliği iki kısımdan oluşmaktadır:

$$g=T_e+q_i \quad (6)$$

T_e : Doğrudan güneş geçirgenliği

q_i : Camdan içeriye doğru ikinci ısı transferi dir.

q_i değeri bileşendeki güneş ışınımı soğurumundan ortaya çıkmaktadır. Camlı bileşen tarafından soğurulan güneş ışınımı, çevreye uzun dalga boyunda IR-ışınım ve konveksiyonla ısı transferi yoluyla aktarılmaktadır. İkinci ısı transferi içeriye (q_i) ve dışarıya (q_o) doğru olarak adlandırılmakta ve kararlı hal

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

koşullarında bu iki q değerinin toplamları soğurma katsayısına (α_e)eşit olmaktadır. q_i ve q_o arasındaki oran her cam tabakasının iç ve dış kısmının ısıl direncine bağlıdır. Çift tabakalı cam için:

$$q_i = \left(\frac{\alpha_{eo} + \alpha_{ei}}{h_e} + \alpha_{ei} R_g \right) \Bigg/ \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + R_g \right) \qquad (7)$$

q_i : Camdan içeriye doğru ikinci ısı transferi, boyutsuz

α_{eo} : Dış camın güneş ışınımı soğurma katsayısı

α_{ei} : İç camın güneş ışınımı soğurma katsayısı

R_g : İç ve dış camlar arası ısıl direnç, m^2K/W

h_e : Dış camdan dışarı doğru ısı transfer katsayısı,W/m^2K

h_i : İç camdan içe doğru ısı transfer katsayısı,W/m^2K

Güneş ışınımı soğurumu daima aynı şekilde gösterilmekte ve cam tabakalarının ısıl dirençleri ihmal edilmektedir. α_{eo} ve α_{ei} değerleri iki cam tabakası arasındaki çoklu yansımaları da kapsamaktadır [EN 410,1998].

Çok tabakalı camlarda güneş iletimi

Saydam bir maddenin iletim, soğurma ve yansıma özellikleri malzemenin temel özellikleri, sönüm katsayısı ve kırılma indisi yardımıyla bulunabilir [Duffie,J.A.; Beckman ,W.A., 1991]. Özellikle kırılma indisi gelen ışınımın hayali (izgesel) dağılımına bağlıdır. Birçok saydam malzemenin kırılma indisi güneş ışığı için bilinmektedir. Ancak; iki ya da daha çok tabakalı malzeme kullanılması durumunda ışınımın izgesel dağılımı her tabaka geçişinde değişecek ve bu sebepten dolayı 2,3,.. numaralı tabakaların kırılma indisleri

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

bilinemeyecektir. Kırılma indisindeki değişim ışınım geçişine uğrayan malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin; düşük demir içerikli camlarda kırılma indisi neredeyse hiçbir değişim göstermezken, Low-E kaplamalı camlardan geçişte belirgin değişimler söz konusudur.

Doğrudan güneş iletimi, güneşin dik geldiği konumda düz cam tabakalarında için geçerli standardlardan elde edilebilir [EN 410 (1998) ve ISO 9050 (1990)]. Bu hesaplamayı yapabilmek için her bir cam tabakasının 300-2500 nm aralığında yer alan dalga boylarındaki spektral yansıtma ρ (λ) ve spektral iletim τ (λ) değerleri bilinmelidir.

Her dalga boyu için geçirilen ışınımın yoğunluğu kullanılan ürünün spektral geçirme değeri kullanılarak bulunur ve istenen dalga boyundaki ışınım yoğunluğu elde edilmiş olur. Güneş spektrumu için cam tabakadan geçen enerji yoğunluğu ürünün güneş spektrumu üzerinde birleştirilmesiyle bulunur.

Doğrudan güneş geçirgenliği aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır [EN 410, 1998]:

$$\tau_e = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} (S_\lambda \cdot \tau_g(\lambda)) d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_\lambda d\lambda} \qquad (8)$$

S_λ : Güneş ışınımının spektral gösterimi

$\tau_g(\lambda)$: Tüm cam için spektral geçirgenlik

Denklem biraz daha basitleştirilmiş olarak aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_\lambda \cdot \tau_g(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_\lambda \cdot \Delta\lambda} \quad (9)$$

$\Delta\lambda$: Dalga boyu adımı

Çift cam kullanılması halinde $\tau_g(\lambda)$ aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\tau_g(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda) \cdot \tau_2(\lambda)}{1 - \rho_1^b(\lambda) \cdot \rho_2(\lambda)} \quad (10)$$

$\tau_1(\lambda)$, $\tau_2(\lambda)$: İç ve dış tabakanın spektral geçirgenlik katsayıları

$\rho_1^b(\lambda)$: Dış tabakanın arka tarafının spektral yansıtma katsayısı

$\rho_2(\lambda)$: İç tabakanın ön tarafının spektral yansıtma katsayısı

Bu ifadede kullanılmış olan iç ve dış tabaka ifadeleri güneş ışınımının dış tabakadan iç tabakaya doğru geçtiği varsayılarak kullanılmıştır. Cam tabakaların spektral geçirgenliğii üç ya da daha çok tabaka için standardlar doğrultusunda genişletilebilir [ISO/FDIS 15099, ISO 9050 (1990), EN 410 (1998)].

Güneş ışınımının spektral dağılımı farklı kaynaklardan elde edilebilir (Moon, P.1940; ASTM, ISO, CEN). Bu çalışmada referans spektrum olarak EN 410'da Air Mass 1.0 olarak verilen güneş eğrisi kullanılacaktır. Doğru değerler kullanıldığı sürece hangi veri setinin kullanıldığı önemli değildir. Air Mass (atmosferdeki hava kütlesi) 1.0 güneş ışınımının atmosfere dik bir atmosfere oranla ne şekilde ilerlediğini anlatan bir ifadedir [Duer,2001].

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

Toplam güneş enerjisi geçirgenliği

g-değeri iki farklı yaklaşımla bulunabilir. Bu bu yaklaşımlar aşağıda açıklanmaktadır:

Enerji dengesinin bir parçası olarak g-değeri; cam tabakanın gerçek sıcaklık değerlerine bakılmaksızın sabit sınır değerler alınarak hesaplanır. Bu yaklaşım ISO 9050 (1990) ve En 410 (1998) da kullanılmıştır ve bundan sonra “ayrı hesaplanmış g-değeri” olarak adlandırılacaktır.

Gerçek güneş ışınımına ve değişen hava sıcaklıklarına bağlı olarak elde edilen enerji dengesi sonucunda elde edilen g-değeridir.

İlk yaklaşım diğerine oranla daha basittir ve basit denklemler ya da bilgisayar programları kullanılarak bulunabilir. Elde edilen bu g-değeri sabit “siyah” özelliklere dayanmakta ve cam tabakadaki ısıl dirençler dolayısıyla değişen gerçek sınır değerlerinin etkilerini kapsamamaktadır.

Diğer yaklaşım ise daha detaylı olarak g-değerini hesaplamaya yaramakta, g-değerini hesaplarken farklı sınır değerler ve farklı güneş ışınımı seviyeleri için cam tabakadaki gerçek sıcaklıkları kullanmaktadır. Bu yöntem WIS, WINDOW 5.2 gibi bilgisayar programları kullanarak çalışmayı gerektirir.

Bu iki yöntem bizlere farklı g-değerleri vermektedir.

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

Ayrı hesaplanmış g-değeri

Bazı durumlar için g-değeri nin ayrı hesaplanması uygundur. Bu metod ölçülen değerlerin düzeltilmesine büyük katkıda bulunmaktadır. Bu yönteme göre g-değeri:

$$g=T_e+q_i \tag{11}$$

Doğrudan güneş geçirgenliği (T_e) değeri önceden belirtildiği şekilde ya da tek tabaka için standardlar yardımıyla hesaplanabilir. İçeri doğru olan ikinci ısı akışı (q_i) ise malzemede tutulan toplam güneş ışınımının cam tabakadaki tüm malzemelerin ısıl dirençleri kullanılarak hesaplanmasıyla bulunur. Buna göre her tabakanın, boşluğun ve cam tabakanın iç ve dış yüzeylerinin ısıl dirençleri bilinmelidir.

Şekil 3 de üç tabakalı bir cam verilmiştir. İkinci tabakada soğurulan ve daha sonra içeriye doğru geçişine izin verilen güneş ışınımı bu tabakanın dışa doğru olan ısıl direncinin, toplam ısıl dirence oranıdır.

İkinci tabakada soğurulan ve daha sonra iç ortama transfer edilen enerji:

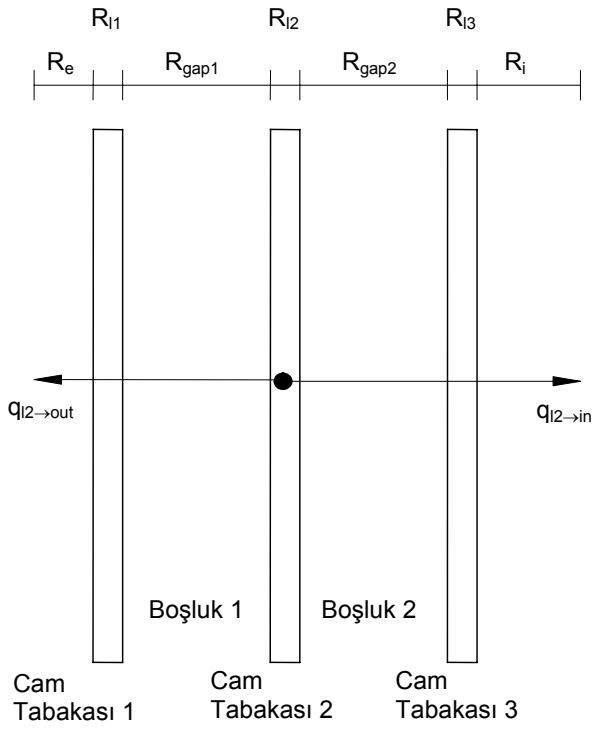
$$q_{I2\rightarrow in} = \alpha_{e2}\frac{R_{out}}{R_{total}} \tag{12}$$

α_{e2} : İkinci tabakanın yansıma etkisini de kapsayan soğurma katsayısı

R_{out} : Soğurma bölgesinden dış ortama olan ısıl direnç, W/m^{2}K

R_{total} : Yüzey dirençlerini de kapsayan toplam ısıl direnç, W/m^{2}K

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri



Şekil 1.4. İkinci tabakada soğurulan ışınımın içeri ve dışarı doğru paylaştırılması

Camdaki tüm tabakalar için hesaplama yöntemi benzerdir. Buna göre q_i ve q_o:

$$q_i = q_{l1\rightarrow in} + q_{l2\rightarrow in} + q_{l3\rightarrow in} \quad (13)$$

$$q_o = q_{l1\rightarrow out} + q_{l2\rightarrow out} + q_{l3\rightarrow out} \quad (14)$$

q_i ve q_o arasındaki oran her cam tabakasından içeri ve dışarı doğru olan ısıl dirençlere bağlıdır. Çift cam uygulaması ele alındığında q_i aşağıdaki şekilde elde edilir [EN 410, 1998].

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

$$q_i = \frac{\alpha_{e1} \cdot R_e + \alpha_{e2} \cdot (R_e + R_g)}{R_e + R_g + R_i} \quad (15)$$

Burada:

q_i : Cam tabakanın içeri doğru ikinci ısı transfer faktörü

α_{e1} : Dış camın soğurma katsayısı

α_{e2} : İç camın soğurma katsayısı

R_g : Cam tabakanın yüzeyden yüzeye ısıl direnci,W/m^{2}K

R_e : Dış cam yüzeyinden dışarı doğru yüzeye ısıl direnç,W/m^{2}K

R_i : İç cam yüzeyinden içeri doğru yüzeye ısıl direnç,W/m^{2}K

Soğurma katsayıları (α_{e1} ve α_{e2}) her tabaka için toplam olarak tabakalar arası yansıma etkileri de göz önüne alınarak bulunabilir. Çift cam uygulaması için aşağıdaki formül kullanılır (EN 410, 1998):

$$\alpha_{e1} = \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_\lambda \left(\alpha_1(\lambda) + \frac{\alpha_1^b(\lambda) \cdot \tau_1(\lambda) \cdot \rho_2(\lambda)}{1 - \rho_1^b(\lambda) \cdot \rho_2(\lambda)} \right) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_\lambda \cdot \Delta\lambda} \quad (6)$$

$$\alpha_{e2} = \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_\lambda \left(\frac{\alpha_2(\lambda) \cdot \tau_1(\lambda)}{1 - \rho_1^b(\lambda) \cdot \rho_2(\lambda)} \right) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_\lambda \cdot \Delta\lambda} \quad (17)$$

Bu denklemler üç ya da daha çok tabaka için de türetilebilir.

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

CEN dökümanlarında çevre koşullarına ait aşağıdaki sınır değerler sabit kabul edilmiştir:

Isı dengesi hesaplaması yoluyla U-değeri ve g-değerinin hesaplanması

Birim cam tabakası alanı başına net enerji kazancı $Q_{net}= g \cdot G - U \cdot \Delta T_n$ şeklinde ifade edilmektedir. U ve g değerleri incelenen camın sınır değerine bağlıdır. Çoğu simülasyon programları bu değerleri sabit kabul etmekte, EN 410 ve EN 673 standardları da bu değerleri özel sınır şartları kullanarak sabitlemektedir.

Çizelge 1.1. EN 410'a Göre çevre sınır değerleri

İncelenen Özellik		
Camın dış yüzeyinin sıcaklığı	2,5	°C
Camın iç yüzeyinin sıcaklığı	17,5	°C
Gaz boşluğunun ortalama sıcaklığı	10	°C
Dış ortam ısı transfer katsayısı (h_o)	23	W/m²K
İç ortam ısı transfer katsayısı (h_i)	8	W/m²K
Güneş ışınım seviyesi	-	-

Bir cam tabakanın gerçek şartlara bağlı olarak g-değerini hesaplamak için özel sınır şartları altında detaylı enerji denge hesaplamaları yapılmalıdır. Bunun için öğelerdeki son sıcaklık değerlerini bulmak amacıyla çok tabakalı camlarda her cam tabakası için detaylı enerji denge hesaplamaları yapılmalıdır.

EK-1 (Devam) Pencerelerin termofiziksel ve optik özelliklerine yönelik hesaplama yöntemleri

g-değeri iki adımda hesaplanır: İlk başta seçilen sınır şartları ve “siyah” ortam için (güneş ışınımının olmadığı ortam) enerji dengesi hesaplanır. Bu sayede Net Enerji Akışı $Q_{net,dark}$ bulunmuş olur ($Q_{net,dark}$; ΔT_n in çevreleyen ortam sıcaklıkları arasındaki fark olduğu durumda $U \cdot \Delta T_n$ e eşittir). Daha sonra hesaplama aynı sınır şartları için özel ışınım seviyesi için tekrarlanır. Bu sayede “güneş” şartları için Net Enerji Akışı $q_{net,solar}$ bulunmuş olur. Bu hesaplamada tabakaların güneş ışınımının soğurma etkileri de göz önüne alınmıştır. Tüm bunlara göre g-değeri:

$$g = \frac{q_{net,solar} - q_{net,dark}}{G} \qquad (18)$$

Uygulanmış olan bu prosedür ISO 9050 ve EN 410 standardlarından sabit sınır şartları uygulanması ve cam tabakaların enerji özelliklerinin ışınımı soğurma seviyesine bakılmaksızın belirlenmesi yönünden farklıdır.

İki değişik metoda göre hesaplanan g-değerleri arasındaki farklılık, iki metoda ait çevre koşulları sınır değerlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge.1.3. Detaylı enerji dengesi (Q_{net}) hesaplamaları için çevre sınır değerleri

Özellik		
İç hava sıcaklığı	20	°C
İç ortam ışınım sıcaklığı	20	°C
İç ortam konveksiyon sabiti (h_i)	3	W/m²K
Dış hava sıcaklığı	-10/0	°C
Dış ortam ışınım sıcaklığı	-10/0	°C
Dış ortam konveksiyon sabiti (h_o)	15	W/m²K
Güneş ışınım seviyesi	100/250/500/1000	W/m²

EK-2 TS2164 Tablo 6-A ve 6-B

Çizelge 2.1. Cam tabakaları arasındaki boşluğu dolduran gaz ve kaplama tipine göre çok katmanlı camların ısı geçirgenlik katsayıları [TS 2164 Tablo 6-A, 2000]

CAMA AİT ÖZELLİKLER				Ara boşluk dolgusu cinsi (Gaz konsantrasyonu ≥ 90)			
Tip	Cam	Normal yayınım derecesi (Emissivite,ε)	Ölçüler mm	Hava	Argon	Kripton	SF6
Çift cam	Kaplamasız cam (Normal cam)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0
			4-9-4	3,0	2,8	2,6	3,1
			4-12-4	2,9	2,7	2,6	3,1
			4-15-4	2,7	2,6	2,6	3,1
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1
	Tek kaplamalı cam	≤0,4	4-6-4	2,9	2,6	2,2	2,6
			4-9-4	2,6	2,3	2,0	2,7
			4-12-4	2,4	2,1	2,0	2,7
			4-15-4	2,2	2,0	2,0	2,7
			4-20-4	2,2	2,0	2,0	2,7
	Tek kaplamalı cam	≤0,2	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3
			4-9-4	2,3	2,0	1,6	2,4
			4-12-4	1,9	1,7	1,5	2,4
			4-15-4	1,8	1,6	1,6	2,5
			4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5
	Tek kaplamalı cam	≤0,1	4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1
			4-9-4	2,1	1,7	1,3	2,2
			4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3
			4-15-4	1,6	1,4	1,3	2,3
			4-20-4	1,6	1,4	1,3	2,3
	Tek kaplamalı cam	≤0,05	4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0
			4-9-4	2,0	1,6	1,3	2,1
			4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,2
			4-15-4	1,5	1,2	1,1	2,2
			4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2
Üçlü Cam	Kaplamasız Cam	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	2,0
			4-9-4-9-4	2,0	1,9	1,7	2,0
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0
	İki Kaplamalı cam	≤0,04	4-6-4-6-4	2,0	1,7	1,4	1,6
			4-9-4-9-4	1,7	1,5	1,2	1,6
			4-12-4-12-4	1,5	1,3	1,1	1,6

EK-2 (Devam) Tablo 6-A ve 6-B

Çizelge 2.1. (Devam) Cam tabakaları arasındaki boşluğu dolduran gaz ve kaplama tipine göre çok katmanlı camların ısı geçirgenlik katsayıları [TS 2164 Tablo 6-A, 2000]

Cama Ait Özellikler				Ara boşluk dolgusu cinsi (Gaz konsantrasyonu ≥ 90)			
Tip	Cam	Normal yayınım derecesi (Emissivite,ε)	Ölçüler mm	Hava	Argon	Kripton	SF6
	İki Kaplamalı cam	≤0,2	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3
			4-9-4-9-4	1,4	1,2	0,9	1,3
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,4
	İki Kaplamalı cam	≤0,1	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,2
			4-9-4-9-4	1,3	1,0	0,8	1,2
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2
	İki Kaplamalı cam	≤0,05	4-6-4-6-4	1,6	1,3	0,9	1,1
			4-9-4-9-4	1,2	0,9	0,7	1,1
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1

Çizelge 2.2. Cam ve çerçevenin tipine ve ısı geçirgenlik kat sayılarına göre pencere sistemlerinin ısı geçirgenlik katsayıları [TS2 164 Tablo 6-B, 2000]

Cam tipi	U_g [1)] W/(m²K)	U_f [2)] W/(m²K)								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Tek cam	5,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,9
Çift cam	3,3	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	4,0
	3,1	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,9
	2,9	2,6	2,7	2,8	2,8	3,0	3,0	3,1	3,2	3,7
	2,7	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,6
	2,5	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,4
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	3,3
	2,1	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	3,0
	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6

EK-2 (Devam) Tablo 6-A ve 6-B

Çizelge 2.2. (Devam) Cam ve çerçevenin tipine ve ısı geçirgenlik kat sayılarına göre pencere sistemlerinin ısı geçirgenlik katsayıları [TS2 164 Tablo 6-B, 2000]

Cam tipi	U_g [1] W/(m^{2}K)	U_f [2] W/(m^{2}K)								
Çift cam	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
Üçlü cam	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	3,2
	2,1	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,9
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,2
	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,8

1) U_g : Camın ısı geçirgenlik kat sayısı W/(m^{2}K)

2) Uf : Çerçevenin ısı geçirgenlik kat sayısı W/(m^{2}K)

EK- 3 TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

Yıllık Isıtma Enerjisinin Hesabı

Binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} \quad (1)$$

$$Q_{ay} = [H (T_{i,ay} - T_{d,ay}) - \eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t \quad (2)$$

Burada;

$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı , Joule

Q_{ay} : Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı Joule

H : Binanın özgül ısı kaybı, W/K

$T_{i,ay}$: Aylık ortalama iç sıcaklık, °C

$T_{d,ay}$: Aylık ortalama dış sıcaklık, °C

η_{ay} : Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü

$\phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar, W

$\phi_{g,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ,W

t : Zaman, saniye, s

NOT - 2 no'lu formülde köşeli parantez içindeki ifadenin pozitif olduğu aylar için toplama yapılacaktır. Negatif olan aylar dikkate alınmaz.

Hesaplamalar aşağıda verilen işlem sırasına göre yapılmalıdır.

a - Isıtılan ortamın sınırları ve gerekli ise farklı sıcaklıktaki bölgelerin veya ısıtılmayan ortamların sınırları belirlenir.

b - Tek bölgeli bir binada, binanın özgül ısı kaybı (H) hesaplanmalıdır (Madde 2.2.1).

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

c - Aylık ortalama iç sıcaklıklar ($T_{i,ay}$) konutlar için 19°C alınmalıdır (Diğer binalar için bk. TS 2164).

d - Aylık ortalama dış sıcaklıklar ($T_{d,ay}$) EK 2'den alınmalıdır.

e - Aylık iletim ve havalandırma ile ısı kaybı "$[H(T_{i,ay}-T_{d,ay})]$" formülü kullanılarak hesaplanmalıdır.

f - Aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$) hesaplanmalıdır (Madde 2.2.2).

g - Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{g,ay}$) hesaplanmalıdır (Madde 2.2.3). Hesap sırasında kullanılacak ($I_{i,ay}$) değerleri EK 3'den alınmalıdır.

h - Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri kullanılarak aylık kazanç/kayıp oranı (KKO) ve ısı kazancı yararlanma faktörü (η_{ay}) hesaplanmalıdır (Madde 2.2.4).

i - Aylık ortalama değerler kullanılarak, "$[\eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})]$"formülü ile faydalı kazançlar "W" cinsinden hesaplanmalıdır

j - Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı formül (2) 'ye göre hesaplanmalıdır.

k - Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı formül (1) 'e göre hesaplanmalıdır.

Isıtılan binanın bölümlerinde farklı sıcaklıklar isteniyorsa, hesap Madde 2.3'de verilen metodlardan birine göre yapılmalıdır.

Binanın Özgül Isı Kaybının Hesabı

Binanın özgül ısı kaybı (H), iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının (H_h) toplanması ile bulunur.

$$H = H_i + H_h \qquad (3)$$

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı

İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (4) no'lu formülle hesaplanır. Bu formülde yapı elemanlarının bünyesinden iletilen ısı kaybına, varsa ısı köprülerinden iletilen ısı kaybı eklenir. Isı köprüsü, bitişik yüzeye göre kompozisyonu değişik, ısı kaybı binanın ortalama ısı kaybından daha yüksek ve kışın kararlı durum için iç yüzey sıcaklığının daha düşük olduğu bölümdür. Cepheye dik bölme duvarlarının, kolon, kiriş ve döşemelerin mümkünse mutlaka yalıtılmaları gereklidir. Ancak balkon vb. ısı köprüsü oluşturan ve yalıtımı çok zor olan bölgeler için ise ısı kaybı hesabı yapılarak iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybına ilâve edilmesi gereklidir.

$$H_i = \Sigma\, AU + l\, U_l \qquad (4)$$

$$\Sigma\, AU = U_D A_D + U_p.A_p + 0{,}8\, U_T.A_T + 0{,}5\, U_t A_t + U_d A_d + 0{,}5 U_{dsıc} A_{dsıc} \qquad (5)$$

Burada;

U_D : Dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

U_P : Pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

U_T : Tavanın ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

U_t : Zemine oturan tabanın /döşemenin ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

U_d : Dış hava ile temas eden tabanın ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

$U_{dsıc}$: Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K

A_D : Dış duvarın alanı, m^2

A_P : Pencerenin alanı, m^2

A_T : Tavan alanı, m^2

A_t : Zemine oturan taban/döşeme alanı, m^2

A_d : Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı, m^2

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

$A_{dsıc}$: Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı m^2

UYARI : Çatı döşemesi doğrudan dış hava ile temas ediyorsa formülde yer alan U_T'nin önündeki 0,8 katsayısı 1 olarak alınır.

U değerinin hesaplanması (TS 8442) EK 6 - Formül 4 'de belirtilen hesap metodu ile yapılır. Hesap yapılırken kullanılması gereken ve malzemelerin ısıl iletkenliğini gösteren λ_h değerleri EK 5'da ulusal veya uluslararası standardları olan malzemeler için verilmiştir. EK 5'de verilen λ_h değerleri doğrudan kullanılabilir. Ancak tam karşılığı bulunmayan λ_h değerleri (Örneğin EK 5, Madde 10.2 'deki ısı yalıtım malzemeleri) ilgili ürün standardında belirtilen deney metodlarına göre belirlenen λ ölçüm değerleri TS 415 e göre λ_h değerlerine dönüştürülerek kullanılır.

TS belgeli malzemelerin λ_h değerleri, ilgili ürün standardında belirtilen deneylerle tespit edilmelidir.

(4) no'lu formülde l, ısı köprüsü uzunluğunu (m cinsinden) U_l, ısı köprüsünün doğrusal geçirgenliğini (W/mK cinsinden) göstermektedir.

Isı köprüsü olması durumunda ilgili büyüklükler TS 8441'de verilen metod ile hesaplanmalıdır.

Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (6) no'lu formül ile hesaplanır.

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

$$H_h = \rho.c.V' = \rho.c.n_h\ V_h = 0.33\ n_h.V_h \quad (6)$$

Burada;

ρ : Havanın birim hacim kütlesi, kg/m^3

c : Havanın özgül ısısı , J/kgK

V' : Hacimsel hava değişim debisi, m^3/h

n_h : Hava değişim sayısı , h^{-1}

V_h : Havalandırılan hacim ($Vh = 0,8 \times V_{brüt}$) ,m^3

"ρ" ve "c" sıcaklık ve basınca bağlı olarak az da olsa değişir, fakat aşağıdaki denklemde bu durum ihmal edilmiştir. Alınan değerler 20 °C ve 100 kPa içindir. Giren ve çıkan hava arasındaki entalpi artışı ihmal edilmiştir. 0,33 katsayısının hesabında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$0,33 = (\rho.c/3600) = (1,184\ .\ 1006\ /\ 3600) = 0,33\ Jh/m^3Ks = Wh/m^3K \quad (7)$$

Doğal havalandırma yapılan binalarda ölçüm sonucuna dayanan bir belge veya değer yoksa, hava kaçakları ve kontrollü doğal havalandırmayı kapsayacak şekilde "n_h" değeri olarak, ulusal veya uluslararası yetkili kuruluşlardan verilmiş uygunluk belgesine sahip firmaların pencere sistemlerinin kullanılması halinde n_h=1.0 h^{-1} değeri, diğer pencere sistemleri için n_h=2.0 h^{-1} değeri kullanılır.

Binada mekanik havalandırma uygulanıyorsa, hacimsel hava değişim debisi aşağıdaki formüllerden faydalanılarak hesaplanır ve 6 nolu formülde yerine konularak havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplanır.

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

Mekanik havalandırma bulunması durumunda, toplam hacimsel hava değişim debisi, sistem vantilatörleri çalışırken vantilatörlerdeki ortalama hacimsel hava değişim debisi ile, rüzgâr etkisi ile oluşan ilâve hacimsel hava değişim debisinin toplamına eşittir:

$$V' = V_f + V_x \qquad (8)$$

Burada;

V' : Toplam hacimsel hava değişim debisi, m^3/h

V_f : Sistem vantilatörleri çalışırken vantilatörlerdeki ortalama hacimsel hava değişim debisi , m^3/h

V_x : Rüzgâr etkisi ile oluşan ilâve hacimsel hava değişim debisi,m^3/h,dir.

Sistem sürekli ve kararlı halde çalışıyorsa, hacimsel hava değişim debisi (V_f) , hava giriş debisi (V_S) ile çıkış debisinden (V_E) büyük olana eşit alınır. "V_x" in yaklaşık olarak hesaplanması için aşağıdaki formülden yararlanılır:

$$V_h \; n_{50} \; e \qquad (9)$$

$$V_x = f.\, V_S - V_E \qquad (10)$$

$$1 + \frac{}{e}\left[\frac{}{V_h \; n_{50}}\right]^2$$

Burada;

V_h : Havalandırılan hacim (m^3),

n_{50} : İç ve dış ortamlar arasında 50 Pa basınç farkı varken hava değişim sayısı,

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

f : Binada dış ortama açık bir yüzey varsa 15, birden fazla yüzey varsa 20 alınır,

e : Çizelge 1 'den alınacak katsayı,

V_s : Hava giriş debisi,m^3/h

V_E : Hava çıkış debisi , m^3/h

Çizelge 1.1 - Bina sınıfı ve e değerleri

Bina sınıfı	"e" değeri	
	Birden fazla dışa açık yüzey	Dışa açık bir yüzey
Açık alandaki binalar veya şehir içindeki 10 kattan daha yüksek binalar	0,10	0,03
Kırsal alandaki binalar	0,07	0,02
Şehir merkezlerindeki 10 kattan daha az katlı binalar	0,04	0,01

Binadaki havalandırma sistemi zaman zaman kapatılıyorsa, hacimsel hava değişim debisi için aşağıdaki formül kullanılır:

$$V' = V_0 (1-\beta) + (V_f + V_x).\beta \qquad (11)$$

Burada;

V_0 : Vantilatörlerin çalışmadığı durum için hacimsel hava değişim debisi,

β : Vantilatörlerin çalıştığı zaman oranı,

Mekanik sistem farklı "V_f" 'ler için tasarlanmışsa, "V_f" olarak ortalama değer kullanılır.

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

Mekanik havalandırma sistemi dışarı atılan havadaki ısı enerjisi ortama gönderilen havanın ön ısıtmasını sağlamak amacıyla kullanılacak bir ısı değiştiricisine (eşanjörüne) ve geri kazanım sistemine sahip ise, mekanik havalandırma ile meydana gelecek ısı kayıplarının hesaplanmasında bir azaltma faktörünün kullanılması gerekir. Bu amaçla hacimsel hava değişim debisinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılır.

$$V' = V_f (1-\eta_v) + V_x \qquad (12)$$

η_v : Havadan havaya ısı geri kazanım sisteminin verimidir.

Yukarıdaki formül, ısı geri kazanım sistemi dışarı atılan havadan alınan ısı enerjisini, sıcak su sistemine veya ısı pompası gibi bir başka sistem aracılığıyla ısıtma sistemine iletiyorsa kullanılmaz.. Bu durumlarda azaltma, ilgili sistemin enerji tüketiminin hesaplanması sırasında dikkate alınmalıdır.

Aylık Ortalama İç kazançlar ($\phi_{i,ay}$)

İç kazançlar aşağıda verilenleri kapsar.

-İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları,
-Sıcak su sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
-Yemek pişirme işleminden kaynaklanan ısı kazançları,
-Aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
-Binalarda kullanılan muhtelif elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları

Ortalama değerler ile çalışılması halinde, aydınlatma dışındaki ortalama değerler yıl boyunca hemen hemen sabittir. Bu standartda aydınlatmadan

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

kaynaklanan kazançlar da sabit kabul edilmiştir ve her bir kaynak için alınacak değerler aşağıda verilmiştir.

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı (büro binaları vb.) binalarda iç kazançlar olarak birim döşeme alanı başına en fazla 5 W/m^2 alınırken; yemek fabrikaları gibi pişirme işleminin ağırlıklı olduğu binalarda, normalin üstünde elektrikli cihaz çalıştırılan binalarda (aydınlatmanın sadece elektrikle sağlandığı binalar vb.) veya etrafa ısı veren sanayi cihazların kullanıldığı binalarda, iç kazançlar için birim döşeme alanı başına en fazla 10 W/m^2 değeri alınır.

Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları ($\phi_{g,ay}$)

Bu madde pencerelerden sağlanan doğrudan güneş ışınımının hesaplanmasını tarif etmektedir. Pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanacak kazançlar ihmal edilmiştir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ($\phi_{g,ay}$) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\phi_{g,ay} = \Sigma\, r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \qquad (13)$$

Burada;

$r_{i,ay}$: "i" yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü,

$g_{i,ay}$: "i" yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü,

$I_{i,ay}$: "i" yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti W/m^2,

A_i : "i" yönündeki toplam pencere alanı ,m^2 dır.

EK- 3 (Devam) TS 825 (2000) binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

$I_{i,ay}$ değerleri TS 825 Ek 3'den alınır.

Hesaplanmış değerler yoksa, $r_{i,ay}$'ın ısıtma periyodu boyunca sabit kaldığı kabul edilir ve binanın bulunduğu veya inşa edileceği yerleşim bölgesinin özelliğine göre aşağıdaki değerlerden biri seçilir.

Ayrık (müstakil) ve az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için $r_{i,ay} = 0,8$
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmeye maruz kalınıyorsa $r_{i,ay} = 0,6$
Bitişik nizam ve/veya çok katlı binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için
$r_{i,ay} = 0,5$ olarak alınır.
$g_{i,ay} = 0,80\ g_{\perp}$

Burada;
$g_{\perp}$: Laboratuar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür.

Ölçü değerlerinin olmaması durumunda "$g_{\perp}$" için aşağıdaki değerlerler kullanılabilir.

Tek cam için $g_{\perp} = 0,85$
Çok katlı cam (berrak) için $g_{\perp} = 0,75$
Isıl geçirgenlik değeri $\leq 2,0$ W/m^{2}K olan ısı yalıtım üniteleri için $g_{\perp} = 0,50$

EK- 4 Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

Aylar	Cam Özellikleri		Gölgeleme Faktörü	Güneş Geçirgenlik Faktörü (0,8g)	Aylık Ortalama Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri (W/m^2)				Toplam Pencere Alanları (m^2)			
	U (W/m^2K)	g (-)			Güney	Kuzey	Doğu	Batı	Güney	Kuzey	Doğu	Batı
Ocak	2,9	0,76	1	0,608	72	26	43	43	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Şubat	2,9	0,76	1	0,608	84	37	57	57	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Mart	2,9	0,76	1	0,608	95	52	77	77	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Nisan	2,9	0,76	1	0,608	83	66	90	90	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Mayıs	2,9	0,76	1	0,608	92	79	114	114	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Haziran	2,9	0,76	1	0,608	95	83	122	122	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Temmuz	2,9	0,76	1	0,608	93	81	118	118	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Ağustos	2,9	0,76	1	0,608	93	73	106	106	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Eylül	2,9	0,76	1	0,608	89	57	81	81	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Ekim	2,9	0,76	1	0,608	82	40	59	59	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Kasım	2,9	0,76	1	0,608	67	27	41	41	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204
Aralık	2,9	0,76	1	0,608	64	22	37	37	1,8204	1,8204	1,8204	1,8204

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazancı (W)	Konutun Toplam Döşeme Alanı (m^2)	Aylık Ortalama İç Kazançlar (W)	İç Ortam Sıcaklığı (ºC)	Aylık Ortalama Dış Ortam Sıcaklıkları (ºC)			
		5W/m2		1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
203,6517888	100	500	19	8,0	3,3	1,3	-5,2
260,098752	100	500	19	9,3	4,5	2,0	-4,1
333,1477632	100	500	19	11,5	7,2	5,0	-1,3
364,1382528	100	500	19	15,7	12,6	9,8	5,1
441,6144768	100	500	19	20,6	17,8	14,1	10,1
467,0709504	100	500	19	25,4	21,9	18,1	13,5
453,789312	100	500	19	28,0	24,4	21,1	17,2
418,3716096	100	500	19	27,2	23,8	20,6	17,2
340,8953856	100	500	19	23,3	19,6	16,5	13,2
265,632768	100	500	19	18,1	14,1	11,3	6,9
194,7973632	100	500	19	13,3	9,1	6,5	1,3
177,088512	100	500	19	9,4	4,9	2,6	-3,0

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

Isıtma Sezonları İçin Yıllık Ortalama Dış Ortam Sıcaklıkları (ºC)				Duvarlar İçin U (W/m^2K)	Toplam Duvar Alanı (m^2)	Toplam Pencere Alanı (m^2))	Tavan İçin U (W/m^2K)	Toplam Tavan Alanı (m^2)
1.Bölge	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**					
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
12,19	9,19	8,72	5,91	0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100
				0,47	100,7184	7,2816	0,3	100

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

Döşeme İçin U (W/m^2K)	Toplam Döşeme Alanı (m^2)	İletimden Kaynaklanan Isı Kaybı (W/K)	Yapının Brüt Hacmi (m^3)	Hesaba Alınacak Olan Hacim (m^3) ($0,8V_{Brüt}$)	Hava Değişim Sayısı (h(-1))
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1
0,43	100	113,954288	270	216	1

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

Havalandırmadan Kaynaklanan Isı Kaybı (W/K)	Toplam Isı Kaybı (W/K)	Aylık Kazanç/Kayıp Oranı (KKO)				Aylık Kazanç Kullanım Faktörleri			
		1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
71,28	185,234288	0,345337	0,241956	0,214617	0,156972	0,944741	0,98396	0,990529	0,9982888
71,28	185,234288	0,423036	0,282996	0,241379	0,177638	0,905944	0,9708	0,984123	0,9964093
71,28	185,234288	0,599707	0,38117	0,321272	0,221567	0,811278	0,92745	0,955516	0,9890379
71,28	185,234288	1,41367	0,728923	0,507077	0,335619	0,507065	0,74637	0,860834	0,9491851
71,28	185,234288	-3,177106	4,236142	1,037423	0,571165	-0,36992	0,21027	0,618608	0,8263662
71,28	185,234288	-0,81575	-1,80028	5,800888	0,949236	-2,40712	-0,74276	0,158347	0,6512774
71,28	185,234288	-0,572122	-0,95354	-2,45195	2,860609	-4,74241	-1,85402	-0,50356	0,295013
71,28	185,234288	-0,604621	-1,03289	-3,09868	2,754384	-4,22748	-1,63308	-0,38088	0,3044536
71,28	185,234288	-1,055728	-7,56605	1,815853	0,782695	-1,57851	-0,1413	0,423457	0,7213049
71,28	185,234288	4,592579	0,843535	0,536795	0,341597	0,195668	0,6944	0,84478	0,9464655
71,28	185,234288	0,658055	0,37888	0,300073	0,211916	0,781207	0,92859	0,964297	0,9910746
71,28	185,234288	0,380761	0,259242	0,222885	0,16615	0,927656	0,97888	0,988741	0,997567

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

Ortalama Kazanç Kullanım Faktörü				Pencere İçin L Değeri (W/m^2K)	Dik Düzleme Gelen Güneş Işınımı Değerleri (Güney) (MJ/m^2-Ay)				Dik Düzleme Gelen Güneş Işınımı Değerleri (Doğu) (MJ/m^2-Ay)			
1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge		1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
				0,1	346	220	337	363	166	93	165	184
				0,1	449	179	340	378	243	93	190	242
				0,1	444	379	409	449	306	240	303	322
				0,1	412	363	367	319	411	329	326	314
				0,1	327	347	327	300	477	407	428	387
				0,1	268	316	301	289	482	466	436	416
0,724794	0,805092	0,77892	0,805537	0,1	299	345	338	316	487	474	489	459
				0,1	393	425	427	383	447	424	446	429
				0,1	513	395	494	443	389	287	364	341
				0,1	537	404	514	470	305	223	279	259
				0,1	572	175	432	363	235	98	195	177
				0,1	460	236	290	294	176	96	123	141

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

Dik Düzleme Gelen Güneş Işınımı Değerleri (Batı) (MJ/m^2-Ay)				Dik Düzleme Gelen Güneş Işınımı Değerleri (Kuzey) (MJ/m^2-Ay)				Yönden Bağımsız Dik Düzleme Gelen Güneş Işınımı Değerleri (MJ/m^2-Ay)			
1.Bölge	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**	**1.Bölge**	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**	**1.Bölge**	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**
150	114	158	186	71	58	85	109	183,25	121,25	186,25	210,5
227	107	187	240	89	61	100	148	252	110	204,25	252
322	240	287	343	126	117	131	183	299,5	244	282,5	324,25
422	309	356	324	145	149	143	152	347,5	287,5	298	277,25
481	431	428	385	207	197	203	201	373	345,5	346,5	318,25
485	465	450	438	226	215	216	236	365,25	365,5	350,75	344,75
483	466	485	450	202	190	207	221	367,75	368,75	379,75	361,5
461	437	465	434	153	160	158	173	363,5	361,5	374	354,75
400	303	376	348	117	126	123	130	354,75	277,75	339,25	315,5
300	230	278	267	105	95	104	102	311,75	238	293,75	274,5
237	88	175	176	78	56	72	85	280,5	104,25	218,5	200,25
176	91	125	148	70	49	61	86	220,5	118	149,75	167,25

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

Isıtma Sezonu Toplam Güneş Işınımı Değerleri (MJ/m^2-Yıl)				Isıtma Sezonu Toplam Güneş Işınımı Değerleri (kWh/m^2-Yıl)				A Değerleri (MJ)			
1.Bölge	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**	**1.Bölge**	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**	**1.Bölge**	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**
1705,5	1411,65	2402,55	3060,675	473,75	392,125	667,375	850,1875	1236,14	1136,51	1871,402	2465,487

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

A Değerleri (kWh-Versiyonu)				Isıtma Sezonu Uzunluğu (Ms)				B Değerleri (MJ)			
1.Bölge	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**	**1.Bölge**	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**	**1.Bölge**	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**
343,3712086	315,6965099	519,8338183	684,8574392	18,144	20,736	25,92	31,104	123,6384	203,472	266,4576	407,2032

EK- 4 (Devam) Örnek hesaplama: Cam 01'in Türkiye derece gün bölgelerinde Q_{net} değerlerinin elde edilmesine ait hesaplamalar

B Değerleri (kWh-Versiyonu)				Qnet (MJ/ m^2-Yıl)				Qnet (kWh/m^2-Yıl)			
1.Bölge	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**	**1.Bölge**	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**	**1.Bölge**	**2.Bölge**	**3.Bölge**	**4.Bölge**
34,344	56,52	74,016	113,112	568,548	253,330	622,893	652,160	157,930	70,369	173,025	181,155

	Performans Göstergeleri			İklim Bölgelerine Göre Ortalama Kazanç Kullanım Faktörü Değerleri (η)				İklim Bölgelerine Göre A Değerleri (KWh)				İklim Bölgelerine Göre A ort Değerleri (KWh)				İklim Bölgelerine Göre B Değerleri (KWh)				Türkiye Derece Gün Bölgelerine Göre Q Net Değerleri (KWh/m2Yıl)			
				1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	1.Bölg	2.Bölg	3.Bölg	4.Bölg	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
Cam Tipi	U değeri W/m2K	T vis cam	g değeri	η 1	η 2	η 3	η 4	A1	A2	A3	A4	A1 ort	A2 ort	A3 ort	A4 ort	B1	B2	B3	B4	Qnet1	Qnet2	Qnet3	Qnet4
1	2,9	0,82	0,76	0,725	0,805	0,779	0,805	343,371	315,696	519,834	684,857									157,9	70,4	173	181,2
2	2,7	0,82	0,76	0,723	0,804	0,777	0,804	342,437	315,104	518,876	683,752									164,1	81,2	187,1	202,9
3	1,8	0,77	0,66	0,725	0,806	0,781	0,808	343,615	316,123	521,027	686,942									161,5	101,3	203,2	238,5
4	1,4	0,77	0,66	0,721	0,803	0,778	0,805	341,644	314,872	519,009	684,62									174	123	231,5	282,2
5	1,9	0,75	0,71	0,72	0,802	0,776	0,803	341,322	314,527	518,193	683,312									173,7	110,3	219,9	258,9
6	1,6	0,75	0,71	0,717	0,799	0,774	0,801	339,841	313,581	516,671	681,562									182,9	126,6	241	291,6
7	1,6	0,75	0,58	0,733	0,812	0,787	0,815	347,189	318,616	525,5	692,717									143	88,7	179	209,5
8	1,3	0,75	0,58	0,73	0,81	0,785	0,812	345,726	317,696	524,011	691,001									152,4	105,1	200,3	242,4
9	1,9	0,74	0,68	0,724	0,805	0,779	0,807	342,984	315,666	520,184	685,823									164,5	101,6	205,7	240,1
10	1,7	0,74	0,68	0,722	0,803	0,778	0,805	342,007	315,045	519,184	684,671									170,7	112,5	219,8	262
11	1,4	0,7	0,59	0,729	0,81	0,785	0,812	345,64	317,611	523,816	690,696									152,4	102,6	198	237,8
12	1,1	0,7	0,59	0,726	0,807	0,782	0,81	344,154	316,672	522,3	688,651									161,8	119	219,3	270,7
13	1,4	0,69	0,63	0,725	0,806	0,781	0,808	343,347	316,041	521,057	687,204									164,8	114,3	217,2	263,3
14	1,2	0,69	0,63	0,722	0,804	0,779	0,807	342,35	315,408	520,036	686,031									171	125,2	231,4	285,2
15	1,3	0,68	0,53	0,735	0,815	0,79	0,818	347,643	319,687	527,53	695,67									136,7	90,3	176	210,2
16	1	0,68	0,53	0,733	0,813	0,788	0,816	347,17	318,764	526,036	693,747									146,2	106,8	197,4	243,3
17	1	0,66	0,49	0,738	0,817	0,792	0,82	349,55	320,388	528,914	697,409									133,5	94,8	177,8	217,3
18	0,8	0,66	0,49	0,735	0,815	0,791	0,819	348,562	319,771	527,914	696,256									139,9	105,8	192,1	239,4
19	1	0,64	0,56	0,729	0,81	0,785	0,813	345,403	317,555	523,901	691,039	349,34	320,15	528,44	696,69	34,34	56,52	74,02	113,11	155,6	115,7	212	262,6
20	0,9	0,64	0,56	0,728	0,809	0,784	0,812	344,902	317,239	523,39	690,45									158,8	121,1	219,1	273,5
21	0,9	0,62	0,4	0,748	0,825	0,801	0,83	354,524	323,797	535,055	705,316									107,5	73	140	169
22	0,7	0,62	0,4	0,746	0,824	0,8	0,828	353,556	323,2	534,082	704,192									113,9	84,1	154,4	191,2
23	1,6	0,65	0,43	0,749	0,826	0,801	0,828	354,803	323,784	534,699	704,446									101,3	49,6	114,8	124,7
24	1,3	0,65	0,45	0,746	0,823	0,799	0,826	353,394	322,915	533,282	702,806									110,9	66,2	136,4	157,9
25	1,6	0,42	0,27	0,772	0,844	0,821	0,849	365,796	331,181	548,137	721,767									40,4	-6,7	22,2	2,6
26	1,2	0,42	0,27	0,768	0,841	0,818	0,846	364,028	330,12	546,383	719,727									53,6	15,7	51,3	47,3
27	1,3	0,6	0,41	0,751	0,827	0,803	0,831	355,81	324,55	536,216	706,565									97,8	53,9	116,2	131,3
28	1	0,6	0,41	0,748	0,825	0,801	0,829	354,39	323,677	534,79	704,915									107,5	70,5	137,8	164,6
29	1,3	0,39	0,25	0,772	0,844	0,821	0,849	365,74	331,239	548,388	722,266									43,4	3,7	33,5	22,2
30	1	0,39	0,25	0,769	0,842	0,819	0,847	364,4	330,435	547,06	720,722									53,3	20,4	55,3	55,8
31	1	0,55	0,38	0,752	0,828	0,804	0,832	356,233	324,925	537,036	707,796									97,6	61,3	122,7	144,5
32	0,8	0,55	0,38	0,75	0,827	0,803	0,831	355,279	324,334	536,079	706,689									104,1	72,4	137,1	166,7
33	1	0,36	0,24	0,77	0,843	0,82	0,849	365,04	330,866	547,852	721,749									49,8	17,2	50,1	48,8
34	0,8	0,36	0,24	0,768	0,842	0,819	0,847	364,134	330,322	546,953	720,706									56,5	28,4	64,7	71,2
35	0,8	0,47	0,46	0,74	0,819	0,795	0,823	350,865	321,311	530,606	699,627									127,1	91,3	170,1	208,7
36	1,6	0,83	0,78	0,709	0,7929	0,767	0,795	335,993	310,923	512,058	675,773									203,7	146,4	273,6	334,8
37	1,6	0,89	0,83	0,704	0,7881	0,762	0,79	333,289	309,046	508,818	671,724									218,2	160,4	296,5	365,2
38	1,2	0,82	0,69	0,715	0,7984	0,773	0,801	338,944	313,062	515,94	680,87									189,2	142,5	259,8	322,8

Çizelge 5. Türkiye Derece Gün Bölgelerine Göre İncelenen Cam Tiplerine Ait Performans Tablosu (MJ)

Cam Tipi	Performans Göstergeleri			İklim Bölgelerine Göre Ortalama Kazanç Kullanım Faktörü Değerleri (η)				İklim Bölgelerine Göre A Değerleri (MJ)				İklim Bölgelerine Göre Aort Değerleri (MJ)				İklim Bölgelerine Göre B Değerleri (MJ)				Türkiye Derece Gün Bölgelerine Göre Q Net Değerleri (MJ/m2Yıl)			
				1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	1.Bölg	2.Bölg	3.Bölg	4.Bölg	1.Bölg	2.Bölg	3.Bölg	4.Bölg	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
	U değeri W/m2K	T viz cam	g değeri	η 1	η 2	η 3	η 4	A1	A2	A3	A4	A1ort	A2ort	A3ort	A4ort	B1	B2	B3	B4	Qnet1	Qnet2	Qnet3	Qnet4
1	2,9	0,82	0,76	0,725	0,805	0,779	0,805	1236,14	1136,5	1871,4	2465,49									568,55	253,33	622,89	652,16
2	2,7	0,82	0,76	0,723	0,804	0,777	0,804	1232,78	1134,37	1867,96	2461,51									590,22	292,4	673,56	730,577
3	1,8	0,77	0,66	0,725	0,806	0,781	0,808	1237,01	1138,04	1875,7	2472,99									581,516	364,513	731,691	858,489
4	1,4	0,77	0,66	0,721	0,803	0,778	0,805	1229,92	1133,54	1868,43	2464,63									626,291	442,93	833,48	1015,85
5	1,9	0,75	0,71	0,72	0,802	0,776	0,803	1228,76	1132,3	1865,5	2459,92									625,143	396,98	791,586	932,14
6	1,6	0,75	0,71	0,717	0,799	0,774	0,801	1223,43	1128,89	1860,02	2453,63									658,45	455,612	867,634	1049,829
7	1,6	0,75	0,58	0,733	0,812	0,787	0,815	1249,88	1147,02	1891,8	2493,78									514,745	391,368	644,266	754,149
8	1,3	0,75	0,58	0,73	0,81	0,785	0,812	1244,62	1143,71	1886,44	2487,6									548,784	378,489	721,096	872,727
9	1,9	0,74	0,68	0,724	0,805	0,779	0,807	1234,74	1136,4	1872,66	2468,96									592,348	365,808	740,497	864,489
10	1,7	0,74	0,68	0,722	0,803	0,778	0,805	1231,23	1134,17	1869,06	2464,81									614,684	404,983	791,339	943,109
11	1,4	0,7	0,59	0,729	0,81	0,785	0,812	1244,31	1143,4	1885,74	2486,5									548,682	369,398	712,899	856,234
12	1,1	0,7	0,59	0,726	0,807	0,782	0,81	1238,95	1140,02	1880,281	2480,226	1257,73	1152,55	1902,39	2508,08	123,64	203,47	266,46	407,2	582,617	428,446	789,617	974,689
13	1,4	0,69	0,63	0,725	0,806	0,781	0,808	1236,05	1137,75	1875,805	2473,937									593,255	411,574	782,071	947,776
14	1,2	0,69	0,63	0,722	0,804	0,779	0,807	1232,46	1135,47	1872,13	2469,712									615,72	450,832	833,047	1026,554
15	1,3	0,68	0,53	0,735	0,815	0,79	0,818	1255,12	1150,87	1899,109	2503,691									492,118	325,102	633,487	756,282
16	1	0,68	0,53	0,733	0,813	0,788	0,816	1249,81	1147,55	1893,728	2497,489									526,4	384,383	710,573	875,746
17	1	0,66	0,49	0,738	0,817	0,792	0,82	1258,38	1153,4	1904,092	2510,693									480,604	341,345	639,902	782,306
18	0,8	0,66	0,49	0,735	0,815	0,791	0,819	1254,82	1151,18	1900,491	2506,524									503,59	380,951	691,429	861,714
19	1	0,64	0,56	0,729	0,81	0,785	0,813	1243,45	1143,2	1886,045	2487,739									560,332	416,373	763,082	945,211
20	0,9	0,64	0,56	0,728	0,809	0,784	0,812	1241,65	1142,06	1884,204	2485,623									571,684	436,082	788,697	984,746
21	0,9	0,62	0,4	0,748	0,825	0,801	0,83	1276,29	1165,67	1926,198	2539,137									386,876	262,796	504,022	608,452
22	0,7	0,62	0,4	0,746	0,824	0,8	0,828	1272,8	1163,52	1922,697	2535,094									410,211	302,631	555,913	688,275
23	1,6	0,65	0,43	0,749	0,826	0,801	0,828	1277,29	1165,62	1924,916	2536,009									364,595	178,628	413,234	448,959
24	1,3	0,65	0,45	0,746	0,823	0,799	0,826	1272,22	1162,5	1919,814	2530,102									399,406	232,262	490,876	568,461
25	1,6	0,42	0,27	0,772	0,844	0,821	0,849	1316,87	1192,25	1973,293	2598,361									145,368	-23,994	79,811	9,312
26	1,2	0,42	0,27	0,768	0,841	0,818	0,846	1310,5	1188,43	1966,978	2591,016									193,106	56,363	184,689	170,21
27	1,3	0,6	0,41	0,751	0,827	0,803	0,831	1280,92	1168,38	1930,379	2543,636									352,082	194,176	418,415	472,806
28	1	0,6	0,41	0,748	0,825	0,801	0,829	1275,8	1165,24	1925,244	2537,696									387,078	253,928	496,247	592,532
29	1,3	0,39	0,25	0,772	0,844	0,821	0,849	1316,66	1192,46	1974,198	2600,157									156,072	13,254	120,509	79,955
30	1	0,39	0,25	0,769	0,842	0,819	0,847	1311,84	1189,57	1969,416	2594,602									191,958	73,572	199,251	200,727
31	1	0,55	0,38	0,752	0,828	0,804	0,832	1282,44	1169,73	1933,329	2548,065									351,325	220,678	441,562	520,341
32	0,8	0,55	0,38	0,75	0,827	0,803	0,831	1279	1167,62	1929,883	2544,082									374,747	260,571	493,544	600,268
33	1	0,36	0,24	0,77	0,843	0,82	0,849	1314,14	1191,12	1972,267	2598,295									179,292	62,049	180,241	175,667
34	0,8	0,36	0,24	0,768	0,842	0,819	0,847	1310,88	1189,16	1969,032	2594,543									203,337	102,273	232,756	256,207
35	0,8	0,47	0,46	0,74	0,819	0,795	0,823	1263,11	1156,72	1910,183	2518,656									457,393	328,62	612,226	751,379
36	1,6	0,83	0,78	0,709	0,7929	0,767	0,795	1209,58	1119,32	1843,407	2432,783									733,283	527,17	984,88	1205,325
37	1,6	0,89	0,83	0,704	0,7881	0,762	0,79	1199,84	1112,57	1831,746	2418,206									785,683	577,528	1067,371	1314,87
38	1,2	0,82	0,69	0,715	0,7984	0,773	0,801	1220,2	1127,02	1857,383	2451,132									681,207	513,132	935,199	1161,917

EK-6 Alan çalışmasında incelenen cam tiplerinin Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (MJ/m^2-yıl)

.Perf. Sıra No	Cam No	U W/m^2K	g	T_{vis}	Cam Kombinasyonu	Q_{net} I. Bölge MJ/m^2Yıl	Q_{net} 2. Bölge MJ/m^2Yıl	Q_{net} 3. Bölge MJ/m^2-Yıl	Qnet 4. Bölge MJ/m^2-Yıl	Cam 01'e göre perf.%si
1.	Cam 37	1,60	0,83	0,89	k-AR+KEF-AR+a	785,68	577,53	1067,37	1314,87	101,6
2.	Cam 36	1,60	0,78	0,83	K+KEF+a	733,28	527,170	984,88	1205,33	84,8
3.	Cam 38	1,20	0,69	0,82	k-AR+KEF-AR+k+a	681,21	513,13	935,2	1161,92	78,2
4.	Cam 06	1,60	0,71	0,75	k+KEF+a	658,4	455,6	867,6	1.049,8	61,0
5.	Cam 04	1,40	0,66	0,77	k+KEK+a	626,3	442,9	833,5	1.015,9	55,8
6.	Cam 05	1,90	0,71	0,75	k+KEF	625,1	397,0	791,6	932,1	42,9
7.	Cam 14	1,20	0,63	0,69	2k+KEF+a	615,7	450,8	833,0	1.026,6	57,4
8.	Cam 10	1,70	0,68	0,74	3k+a	614,7	405,0	791,3	943,1	44,6
9.	Cam 13	1,40	0,63	0,69	2k+KEK+a	593,3	411,6	782,1	947,8	45,3
10.	Cam 09	1,90	0,68	0,74	3k	592,3	365,8	740,5	864,5	32,6
11.	Cam 02	2,70	0,76	0,82	2k+a	590,7	292,4	673,6	730,6	12,0
12.	Cam12	1,10	0,59	0,70	2k+KEK+a	582,6	428,4	789,6	974,7	49,4
13.	Cam 03	1,80	0,66	0,77	k+KEK	581,5	364,5	731,7	858,5	31,6
14.	Cam 20	0,90	0,56	0,64	KEF+k+KEF+a	571,7	436,1	788,7	984,7	51,0
15.	Cam01	2,90	0,76	0,82	2k	568,5	253,3	622,9	652,2	0,0
16.	Cam19	1,00	0,56	0,64	KEF+k+KEF	560,3	416,4	763,1	945,2	44,9
17.	Cam 08	1,30	0,58	0,75	k+KES+a	548,8	378,5	721,1	872,7	33,8
18.	Cam 11	1,40	0,59	0,70	2k+KEK	548,7	369,4	712,9	856,2	31,3
19.	Cam 16	1,00	0,53	0,68	2k+KES+a	526,4	384,4	710,6	875,7	34,3
20.	Cam 07	1,60	0,58	0,75	k+KES	514,7	319,4	644,3	754,1	15,6
21.	Cam 18	0,80	0,49	0,66	KEK+k+KEK+a	503,6	381,0	691,4	861,7	32,1
22.	Cam 15	1,30	0,53	0,68	2k+KES	492,1	325,1	633,5	756,9	16,1
23.	Cam 17	1,00	0,49	0,66	KEK+k+KEK	480,6	341,3	639,9	782,3	19,9
24.	Cam 35	0,80	0,46	0,47	k+KEK+KEF+kr	457,4	328,6	612,2	751,4	15,2
25.	Cam 22	0,70	0,40	0,62	KES+k+KES+a	410,2	302,6	555,9	688,3	5,5
26.	Cam 24	1,30	0,45	0,65	KOK+k+a	399,4	238,3	490,9	568,5	-12,8
27.	Cam 28	1,00	0,41	0,60	KOK+2k+a	387,1	253,9	496,2	592,5	-9,2
28.	Cam 21	0,90	0,40	0,62	KES+k+KES	386,9	262,8	504,0	608,5	-6,7
29.	Cam 32	0,80	0,38	0,55	KOK+k+ KEF+a	374,7	260,6	493,5	600,3	-8,0
30.	Cam 23	1,60	0,45	0,65	KOK+k	364,6	178,6	413,2	449,0	-31,2
31.	Cam 27	1,30	0,41	0,60	KOK+2k	352,1	194,2	418,4	472,8	-27,5
32.	Cam 31	1,00	0,38	0,38	KOK+k+ KEF	351,3	220,7	441,6	520,3	-20,2
33.	Cam 34	0,80	0,24	0,36	KOS+k+ KEF+a	203,3	102,3	232,8	256,2	-60,7
34.	Cam 26	1,20	0,27	0,42	KOS+k+a	193,1	56,4	184,7	170,2	-73,9
35.	Cam 30	1,00	0,25	0,39	KOS+2k+a	192,0	73,6	199,3	200,7	-69,2
36.	Cam 33	1,00	0,24	0,36	KOS+k+ KEF	179,4	62,0	180,2	175,7	-73,1
37.	Cam 29	1,30	0,25	0,39	KOS+2k	156,1	13,3	120,5	80,0	-87,7
38.	Cam 25	1,60	0,27	0,42	KOS+k	145,4	-24,0	79,8	9,3	-98,6

EK-6 (Devam) Alan çalışmasında incelenen cam tiplerinin Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Q_{net} değerleri (kWh/m^2-yıl)

Perf. Sıra No	Cam No	U W/m 2K	g	T_{vis}	Cam Kombinasyonu	Qnet I. Bölge kWh/ m^2-Yıl	Qnet 2. Bölge kWh/ m^2-Yıl	Qnet 3. Bölge (kWh/ m^2-Yıl)	Qnet 4. Bölge (kWh/ m^2-Yıl)	Cam01'e göre performans %si
1.	Cam 37	1,60	0,83	0,89	kAR+KEF-AR+a	218,245	160,424	296,492	365,240	101,6
2.	Cam 36	1,60	0,78	0,83	K+KEF+a	203,690	146,436	273,578	334,813	84,8
3.	Cam 38	1,20	0,69	0,82	k -AR +KEF-AR+ k +a	189,225	142,537	259,778	322,755	78,2
4.	Cam 06	1,60	0,71	0,75	k+KEF+a	182,9	126,6	241,0	291,6	61,0
5.	Cam 04	1,40	0,66	0,77	k+KEK+a	174,0	123,0	231,5	282,2	55,8
6.	Cam 05	1,90	0,71	0,75	k+KEF	173,7	110,3	219,9	258,9	42,9
7.	Cam 14	1,20	0,63	0,69	2k+KEF+a	171,0	125,2	231,4	285,2	57,4
8.	Cam 10	1,70	0,68	0,74	3k+a	170,7	112,5	219,8	262,0	44,6
9.	Cam 13	1,40	0,63	0,69	2k+KEK+a	164,8	114,3	217,2	263,3	45,3
10.	Cam 09	1,90	0,68	0,74	3k	164,5	101,6	205,7	240,1	32,6
11.	Cam 02	2,70	0,76	0,82	2k+a	164,1	81,2	187,1	202,9	12,0
12.	Cam12	1,10	0,59	0,70	2k+KEK+a	161,8	119,0	219,3	270,7	49,4
13.	Cam 03	1,80	0,66	0,77	k+KEK	161,5	101,3	203,2	238,5	31,6
14.	Cam 20	0,90	0,56	0,64	KEF+k+KEF+a	158,8	121,1	219,1	273,5	51,0
15.	Cam01	2,90	0,76	0,82	2k	157,9	70,4	173,0	181,2	0,0
16.	Cam19	1,00	0,56	0,64	KEF+k+KEF	155,6	115,7	212,0	262,6	44,9
17.	Cam 08	1,30	0,58	0,75	k+KES+a	152,4	105,1	200,3	242,4	33,8
18.	Cam 11	1,40	0,59	0,70	2k+KEK	152,4	102,6	198,0	237,8	31,3
19.	Cam 16	1,00	0,53	0,68	2k+KES+a	146,2	106,8	197,4	243,3	34,3
20.	Cam 07	1,60	0,58	0,75	k+KES	143,0	88,7	179,0	209,5	15,6
21.	Cam 18	0,80	0,49	0,66	KEK+k+KEK+a	139,9	105,8	192,1	239,4	32,1
22.	Cam 15	1,30	0,53	0,68	2k+KES	136,7	90,3	176,0	210,2	16,1
23.	Cam 17	1,00	0,49	0,66	KEK+k+KEK	133,5	94,8	177,8	217,3	19,9
24.	Cam 35	0,80	0,46	0,47	k+KEK+KEF+kr	127,1	91,3	170,1	208,7	15,2
25.	Cam 22	0,70	0,40	0,62	KES+k+KES+a	113,9	84,1	154,4	191,2	5,5
26.	Cam 24	1,30	0,45	0,65	KOK+k+a	110,9	66,2	136,4	157,9	-12,8
27.	Cam 28	1,00	0,41	0,60	KOK+2k+a	107,5	70,5	137,8	164,6	-9,2
28.	Cam 21	0,90	0,40	0,62	KES+k+KES	107,5	73,0	140,0	169,0	-6,7
29.	Cam 32	0,80	0,38	0,55	KOK+k+ KEF+a	104,1	72,4	137,1	166,7	-8,0
30.	Cam 23	1,60	0,45	0,65	KOK+k	101,3	49,6	114,8	124,7	-31,2
31.	Cam 27	1,30	0,41	0,60	KOK+2k	97,8	53,9	116,2	131,3	-27,5
32.	Cam 31	1,00	0,38	0,38	KOK+k+ KEF	97,6	61,3	122,7	144,5	-20,2
33.	Cam 34	0,80	0,24	0,36	KOS+k+ KEF+a	56,5	28,4	64,7	71,2	-60,7
34.	Cam 26	1,20	0,27	0,42	KOS+k+a	53,6	15,7	51,3	47,3	-73,9
35.	Cam 30	1,00	0,25	0,39	KOS+2k+a	53,3	20,4	55,3	55,8	-69,2
36.	Cam 33	1,00	0,24	0,36	KOS+k+ KEF	49,8	17,2	50,1	48,8	-73,1
37.	Cam 29	1,30	0,25	0,39	KOS+2k	43,4	3,7	33,5	22,2	-87,7
38.	Cam 25	1,60	0,27	0,42	KOS+k	40,4	-6,7	22,2	2,6	-98,6

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: AYÇAM, İdil
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 10.06.1971, Mersin
Medeni hali	: Bekar
Telefon	: 0 (312) 231 74 00 / 2602
Faks	: 0 (312) 230 84 34
e-mail	: iaycam@gazi.edu.tr

Eğitim

Derecesi	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Mimarlık Ana Bilim Dalı	1998
Lisans	Gazi Ünv. Müh. Mimarlık. Fak. Mimarlık Bölümü	1993
Lise	Bahçelievler Deneme Lisesi	1988

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1994-2006	Gazi Ünv. Müh. Mim. Fak. Mimarlık Bölümü	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Ayçam, İ., “Ekoloji Akıllı Malzemeler”, Bilim Teknik Dergisi, Mimarlıkta Yeni Ufuklar Eki, s.18-19, Ekim 2002
2. Ayçam, İ., Bilgin, E., Utkutuğ, G., “Building Energy Codes & Standards, Energy Rating and Labeling” IV th International Building Installation

Science and Technology Symposium, TTMD-REHVA, Hyatt Regency, İstanbul, April,2000, Transactions, 137-143

3. Ayçam, İ., Bilgin, E.,.Utkutuğ, G, “Binalarda Enerji Kod ve Standardları, Enerji Tüketim Profili ve Etiketleme”, Türkiye 8.Enerji Kongresi/21.yüzyılda Sürdürülebilir Kalkınma İçin Enerji ve Teknoloji Sempozyumu, Dünya Enerji Konseyi (WEC) Türk Milli Komitesi, ODTÜ Kongre Merkezi, Ankara, Mayıs 2000, Kongre Bildiriler Kitabı, Cilt 1,169-181.

4. Ayçam, İ.,.Utkutuğ, G, “Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi Ve Enerji Etkin Pencere Seçimi”, “TESKON’99, IV.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Büyük Efes Oteli, Convention Center, İzmir, 4-7 Kasım 1999, Bildiriler Kitabı Cilt 1 (TMMO Yayın No : 229/1), 59-73

5. Utkutuğ, G., Ayçam, İ. “Enerji Etkin Pencere Seçimi; Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi”, Kuram ve Uygulama Mimari Biçimlendirmede Yüzey Sergi ve Sempozyumu, GÜMMF Mimarlık Bölümü, TMMOB Mimarlar Odası, Ankara Şubesi, Ankara, Ekim 1999, Bildiriler Kitabı, Yüzey Performansı Bölümü, 50-57

6. İmren ,. M., Ayçam, İ, Utkutuğ, G,. "Konut Uygulamalarında Kullanılan Ağır Beton Duvar Panellerinin Higrotermik Performansının İyileştirilmesi", 2000'e Doğru Prefabrikasyonda Yeni Perspektifler ve Uygulamalar**,** 9. Prefabrikasyon Sempozyumu, Istanbul, Nisan, 1998, Bildiriler Kitabı,. 207-218

Hobiler

Plastik Sanatlar, Bilgisayar teknolojileri.