GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

CAM YAPI MALZEMELERİNİN FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ ENERJİ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ELNAZ BAGHERI FARAHBAKHSH

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2014

ELNAZ BAGHERI FARAHBAKHSH tarafından hazırlanan "CAM YAPI MALZEMELERİNİN FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ ENERJİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi YAPI EĞİTİMİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Mimarlık, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Başkan : Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY

Mimarlık, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Üye : Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

İnşaat Mühendisliği Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Tez Savunma Tarihi: 16/07/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Elnaz Bagheri Farahbakhsh

16.07.2014

CAM YAPI MALZEMELERİNİN FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ ENERJİ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Elnaz Bagheri FARAHBAKHSH

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2014

ÖZET

Yapı sektöründe enerji verimliliğine katkı sağlamak amacıyla mevcut binalarda enerji tüketimi azaltılmalı ve yeni binalar enerji etkin tasarlanmalıdır. Binaların opak ve saydam yüzeyleri, enerji kazanç ve kayıpları açısından büyük önem taşımaktadır. Cam tipi, binalarda saydam yüzeylerin sebep olduğu enerji kazanç ve kayıp miktarlarını etkileyen parametrelerden biri olup binanın ısıtma amaçlı enerji tüketimini etkileyebilir. Camların sebep olabileceği enerji tüketim miktarının ön tasarım evresinde iklimsel özelliklere göre analiz edilmesi ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi enerji etkin tasarımlar açısından önemlidir. Bu bağlamda tez çalışmasında, Türkiye'de sayıları hızla artan konut binalarında enerji etkin cam tiplerinin seçimi konusunda farkındalık yaratılması ve bu konuda yapı sektöründeki ilgili aktörlere ışık tutulması hedeflenmektedir. Bu çerçevede, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı kapsamında, Türkiye'nin üç farklı derece gün bölgesinde yer aldığı varsayılan Toplu Konut İdaresi (TOKİ)'nin tip bir konut projesi dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Tek ısıcam, çift ısıcam, tek low-e cam ve çift low-e cam seçeneklerinden oniki senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar, mekan ısıtması için doğalgaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketimi açısından enerji analiz programı eQUEST ile analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre cam tipinin enerji tüketimi üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu	:	714.3.035
Anahtar Kelimeler	:	Cam Yapı Malzemeleri, Enerji Verimliliği, Enerji Performansı, Enerji Tüketimi, TS-825, Derece Gün Bölgesi, Low-e Cam, eQUEST
Sayfa Adedi	:	80
Tez Yöneticisi	:	Yrd. Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

EVALUATION OF THE ENERGY PERFORMANCE OF GLASS CONSTRUCTION MATERIALS IN DIFFERENT DEGREE DAY REGIONS

(M.Sc. Thesis)

Elnaz BAGHERI FARAHBAKHSH

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

July 2014

ABSTRACT

Type of glass has become one of the parameters affecting the amount of energy gains and losses caused by transparent surfaces and can affect energy consumption used for heating buildings. The analysis of glasses according to climatic conditions and development of solutions for the amount of energy consumption caused by glasses is very important from energy-efficient design perspective. In this regard, this thesis aims to raise awareness in the increasing number of residential buildings in Turkey on the selection of energy-efficient glass types and provide guidelines for the actors involved in the construction sector. Accordingly, in TS 825 for buildings, under Standard for Thermal Insulation Regulations, a typical housing project from default Mass Housing Administration (TOKI) located in three regions with different degrees of sunlight was evaluated. Twelve scenarios were created from single glazing, double glazing, single low-e glass, and double low-e glass options. These scenarios were analyzed by eQuest energy analysis program in terms of natural gas use for space heating and energy consumption. The obtained results indicated that the type of glass was found to affect energy consumption.

Science Code : 714.3.035
Key Words : Glass Construction Materials, Energy Efficiency, Energy Performance, Energy Consumption, TS-825, Degree Day Regions, Low-e Glass, eQUEST
Page Number : 80
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca katkılarıyla beni yönlendiren ve her zaman destekleyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN'e, Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Metin ARSLAN'a, Değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. Rahman AZARİ ve eşi Sayın Nasrin DAVATGHAR'a, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşlarım Gökhan KAPLAN, Burçak BULUT, Rüya KILIÇ, Sadık Onal ve Yousef ZAMANİFARD'a, manevi destekleriyle her zaman yanımda olan değerli annem, babam ve kardeşim Sara'ya çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ 5

2.1. Dünyada Enerji Verimliliği 5

2.1.1. Dünyada enerji verimliliği ile ilgili yürütülen çalışmalar 6

2.1.2. Dünyada yapılarda enerji verimliliği ile ilgili yasal mevzuat 9

2.2. Türkiye Yapı Sektöründe Enerji Verimliliği 14

2.2.1.Türkiye'de yapılarda enerji verimliliği ile ilgili yasal mevzuat 15

2.2.2.Türkiye'de konutlarda enerji tüketimi 18

3. CAM YAPI MALZEMELERİ 21

3.1. Camın Tarihsel Gelişimi 22

3.2. Camların Özellikleri 23

3.2.1. Camın ısıl özellikleri 24

3.2.2. Camın optik özellikleri 24

3.2.3. Camın dayanıklılık özellikleri 25

3.3. Yapılarda Cam Malzemenin Kullanımı 25

Sayfa

3.3.1. Normal camlar..... 26

3.3.2. Yüzey kaplamalı camlar..... 27

3.3.3. Güvenlik camları..... 29

3.3.4. Tabakalı camlar..... 29

3.4. Cam Yapı Malzemelerinin Enerji Performansı Parametreleri..... 30

3.4.1. Güneş kontrolü..... 31

3.4.2. Işık geçirgenliği..... 31

3.4.3. Renk ve ışık yansıması..... 32

4. TÜRKİYE'DE FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ KONUTLARDA KULLANILAN CAMLARIN ENERJİ PERFORMANSLARIN IN DEĞERLENDİRİLMESİ 35

4.1. Türkiye'de TS-825 Kapsamında Derece Gün Bölgelerinin İklimsel Özellikleri 35

4.1.1. I. derece gün bölgesinin iklimsel özellikleri..... 37

4.1.2. II. derece gün bölgesinin iklimsel özellikleri..... 38

4.1.3. III. derece gün bölgesinin iklimsel özellikleri..... 38

4.1.4. IV. derece gün bölgesinin iklimsel özellikleri..... 38

4.2. Farklı Derece Gün Bölgelerindeki TOKİ Konutlarında Kullanılan Normal Cam ve Low-e Cam Seçeneklerinin Enerji Performanslarının Değerlendirilmesi...39

4.2.1. Değerlendirmede kullanılan konutun özellikleri..... 39

4.2.2. Örnek Konutun eQUEST simülasyon programında modellenmesi..... 42

4.3. Değerlendirme bulgularının karşılaştırılması ve tartışma..... 47

4.3.1. I. derece gün bölgesi için değerlendirme (İzmir)..... 50

4.3.2. II. derece gün bölgesi için değerlendirme (İstanbul)..... 51

4.3.3. III. derece gün bölgesi için değerlendirme (Ankara)..... 51

4.3.4. Derece gün bölgelerine göre değerlendirme..... 52

Sayfa

5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 55

5.1. Sonuçlar..... 55

5.2. Öneriler..... 57

KAYNAKLAR..... 59

EKLER..... 67

EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler..... 68

ÖZGEÇMİŞ..... 80

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Değerlendirilen konutun dağılım ve alan tablosu 40

Çizelge 4.2. TOKİ K-6 tipi konut binasının kabuğunu oluşturan bileşenlerin alanları... 42

Çizelge 4.4. Örnek konutun modellemesinde tercih edilen cam ve çerçeve seçenekleri. 48

Çizelge 4.6. Simülasyonda değerlendirilen senaryoların bulguları..... 49

Çizelge 4.7. Mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan elektrik tüketiminin oranları..... 49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. 1971 yılı itibariyle sağlanan enerji tasarrufunun AB enerji tüketimine Katkısı..... 8

Şekil 2.2. Türkiye'de kişi başına düşen enerji tüketimi verileri..... 15

Şekil 2.3. Mevcut bina stokunda binaların kullanım amaçları kapsamında oranları..... 18

Şekil 2.4. 2011 yılında sektörlere göre elektrik tüketiminin dağılımı 19

Şekil 4.1. Türkiye'de derece gün bölgelerine göre illerin haritası 37

Şekil 4.2. TOKİ K-6 tipi konut projesi 41

Şekil 4.3. eQUEST programı "genel bilgi" giriş ekranı..... 44

Şekil 4.4. eQUEST programı "binanın kapladığı alan" giriş ekranı..... 45

Şekil 4.5. eQUEST programı "dış pencereler" giriş ekranı..... 46

Şekil 4.6. TOKİ K-6 tipi konut binasının eQUEST simülasyon programında modellenmesi..... 47

Şekil 4.7. Mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan elektrik tüketiminin derece gün bölgelerine göre karşılaştırılması..... 50

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
ε	Camın yayınım (emissivity) değeri
CO_2	Karbondioksit
Dx	Serinlik İndeksi
G-Faktörü	Toplam Güneş Enerjisi İletkenliği
SC	Gölgeleme Katsayısı
SHGC	Güneş Isı Kazanç Katsayısı
Te	Camdan Geçerek Doğrudan Iletilen Işınımın Enerji İletkenliği
U -W/m^2K	Isıl Performans Ölçütleri – Isı Geçirgenlik Katsayısı
VT değeri	Işık Geçirgenliği
Y/H	Yüzey / Hacim

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AR-GE	Araştırma-Geliştirme
BM	Birleşmiş Milletler
BTYK	Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu
CCTP	US Climate Change Technology Program
COP	Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
EASD	En Az Sıcak Dönem
EEBPD	European Energy Directive (Avrupa Bina Enerji Performans Direktifi)
EIE	Enerji İşleri Etüt İdaresi
Energy Rating	Enerji Tüketim Profili

Kısaltmalar	Açıklamalar
IEAGSYİH	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
GFK	Türkiye'nin Enerji Verimliliği Bilinci Araştırması
HDD	Heating Degree Days (Isıtma Gün Dereceleri)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IR	Infrared (Kızılötesi)
Low-e	Low Emissivity or Low Thermal Emissivity (Düşük Yayınımlı Film Kaplamalar)
OECD	The Organisation for Economic Cooperation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)
PVC	Polyvinyl Chloride
SAVE–EWERS	Avrupa Genelinde Pencere Enerji Derecelendirme Sistemi
SET	The European Strategic Energy Technology Plan (Stratejik Enerji Teknolojileri Planı)
SS-Low-e	Spektral Seçici Düşük Yayınımlı Camlar
TOKİ	Toplu Konut İdaresi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
UV	Ultraviyole (Mor

1. GİRİŞ

Sanayinin gelişmesi, nüfus artışı ve kentleşme sonucunda oluşan çevre kirliliği, günümüzün en önemli problemlerinden biridir. Dünyada temiz su kaynaklarının % 17'si, orman ürünlerinin % 25'i ve enerji kaynaklarının % 40'ı yapı sektörü tarafından tüketilmektedir [1-3]. Türkiye'de tüketilen kaynakların % 28'i öz kaynaklardan karşılanmakta, % 72'si ise ithal edilmekte ve bu oran gün geçtikçe artmaktadır [4, 5]. Bu oranlara paralel olarak Türkiye yapı sektöründe enerji kavramı önem kazanmıştır [6]. Türkiye'de birim hacmi ısıtmak için harcanan enerji Almanya'dan % 50, Amerika'dan % 60, İsveç'ten % 73 daha fazladır [7]. Bu sebeple, Türkiye'de yeni binaların enerji etkin üretiminin teşvik edilmesi ve mevcut bina stoğunun enerji verimliliğinin arttırılması büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'deki mevcut bina stoğu incelendiğinde, enerji korunumu açısından yetersiz olan binalarda fosil kökenli enerji kaynaklarına olan bağımlılığının yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, bina üretimindeki artış ve kullanıcı odaklı konfor gereksiniminin artması, yapı sektöründe enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Fosil kökenli enerji kaynaklarının azalması, enerji fiyatlarındaki yükselmeler ve küresel ısınmaya bağlı çevresel sorunlar, enerjinin sanayi ve ulaşım sektörleri gibi binalarda da verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır [8].

Güneş enerjisi binalarda enerji tüketimini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Binalarda güneş enerjisi kazancı taşınım, iletim ve ışınım yolu ile gerçekleşir. Bu sebeple, bina kabuğunu oluşturan opak ve saydam yüzeyler enerji gereksiniminde önemli role sahiptir. Enerji tüketiminin azaltılmasında pencere/duvar alanı oranı, çerçeve tipi ve cam tipi gibi tasarım parametrelerinin dikkate alınması gerekir. Mimari proje tasarım sürecinin ön tasarım evresinde simülasyon programlarının kullanılması ile iklime dayalı analizler yapılarak enerji verimliliği açısından amaçlanan değerlerin elde edilmesi olanaklıdır. Isı kayıp ve kazançları açısından bina kabuğunu oluşturan elemanların ısı geçirgenlik katsayısı en etkili parametrelerden biridir. Duvar, çatı ve döşeme elemanlarına göre pencereler daha az direnç gösteren yapı elemanları olup, ısı kayıp ve kazançları önemli ölçüde pencerelerden gerçekleşir. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde yüksek oranda güneş ışınımına maruz kalan pencereler, iç ısıl konfor koşullarını olumsuz etkiler. Sözkonusu olumsuzluklar, iç ortam sıcaklığının yükselmesi ve bu nedenle insanlar üzerindeki stresi

arttırması, insanların çalışma verimini düşürmesi, iç ortamdaki elektrikli aletlerin çalışma verimini azaltması ve doğrudan güneş ışınımının yansımaya neden olması şeklinde sıralanabilir [9]. Belirtilen olumsuzluklar çerçevelerin ısıl özellikleri, cam kaplama türleri, camlar arasındaki boşluk miktarı ve boşlukta kullanılan gaz türlerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu değişkenlerin iklim bölgelerinin özellikleri dikkate alınarak seçilmesi ile pencerelerin enerji performansının arttırılması mümkündür [8].

Tez çalışmasında, konutlarda enerji etkin tasarım parametrelerinin yapı sektöründeki ilgili aktörler tarafından anlaşılabilirliği, uygulanabilirliği ve yaygınlaştırılmasına yönelik bir rehber çerçeve sunulması hedeflenmektedir. Bu hedef kapsamında tezin amacı, Türkiye'de sayıları hızla artan konut binalarının enerji etkin tasarımı ve mevcut binaların enerji etkin yenilenmesi konusunda farkındalık yaratılması; enerji performansı yüksek cam tiplerinin seçimi konusunda araştırmacılara ve tasarımcılara ışık tutulmasıdır.

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda, Toplu Konut İdaresi (TOKİ)'nin tip projelerinden K-6 tipi konut binası ısıtma açısından değerlendirilmiştir. Bu binanın TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardında [10] belirtilen üç farklı derece gün bölgesinde yer alan üç farklı ilde aynı topoğrafik özelliklerde konumlandırıldığı varsayılmıştır. Sözkonusu varsayım doğrultusunda eQUEST 3.65 (the Quick Energy Simulation Tool 3.65) enerji simülasyon programında gerekli analizler yapılmıştır. Herbir derece gün bölgesinde yer alan tip konut binasında *mekan ısıtması için doğalgaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketimi* hesaplanmıştır. Değerlendirme için I. derece gün bölgesinde yer alan İzmir, II. derece gün bölgesinde yer alan İstanbul ve III. derece gün bölgesinde yer alan Ankara illeri seçilmiştir. Değerlendirmede kullanılan EUQEST programı IV. derece gün bölgesinin verilerini içermediği için bu bölgeden bir il seçilememiş ve değerlendirmenin kapsamı dışında bırakılmıştır. Yapılan değerlendirmenin sonuçları doğrultusunda, Türkiye'nin I., II. ve III. derece gün bölgelerinin iklimsel özelliklerine uygun cam tipleriyle ilgili öneriler sunulmakta ve Türkiye'deki mevcut konut stoğunun enerji etkin yenilenmesinin önemi vurgulanmaktadır..

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı [10] kapsamında yer alan Türkiye derece gün bölgelerinin iklimsel özelliklerine uygun cam tipleriyle ilgili öneriler sunulmakta ve Türkiye'deki mevcut konut stoğunun enerji etkin yenilenmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Tez kapsamında cam tipleriyle ilgili verilere Uluslararası Standardlar Kuruluşu (ISO) Standardları ve Türk Standardları Enstitüsü (TSE) Standardlarından, cam üreticisi firmaların broşürlerinden ve eQUEST [11] simülasyon programının veri tabanından ulaşılmaktadır.

Yukarıda ifade edilen sorunlar ve kısıtlar kapsamında hazırlanan tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Tez çalışmasının giriş bölümünde, dünyada ve Türkiye'de yapı sektörünün sebep olduğu enerji tüketimi irdelenmekte, sözkonusu tüketimin azaltılması için binaların saydam yüzeylerine ilişkin tasarım parametreleri sorgulanmakta, Türkiye yapı sektöründe enerjinin verimli kullanımında karşılaşılan sorunlar ile kısıtlar saptanmakta ve saptanan sorunlar kapsamında tez çalışmasının amaç ve kapsamı belirlenmektedir.

Belirlenen amaca uygun olarak, tez çalışmasının ikinci bölümünde kaynak araştırması yapılmaktadır. Yapılan kaynak araştırması doğrultusunda enerji verimliliği kavramı tanımlanmakta, dünyada ve Türkiye'de enerji verimliliği ile ilgili yürütülen çalışmalar incelenmektedir. Bu inceleme çerçevesinde yapılarda enerji verimliliği ile ilgili yasal çerçeve sunulmakta ve Türkiye'de konutların sebep olduğu enerji tüketimine ilişkin istatistiki bilgiler verilmektedir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, camın tarihsel gelişimi verilmekte ve ısıl-optik-dayanıklılık özellikleri açıklanmaktadır. Yapılarda cam malzemenin kullanımı incelenmekte ve cam yapı malzemelerinin enerji performansı parametreleri irdelenmektedir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı kapsamında Türkiye derece gün bölgelerinin iklimsel özellikleri sunulmaktadır. Farklı derece gün bölgelerinde yer aldığı varsayılan Toplu Konut İdaresi (TOKİ)'nin tip bir konut projesinde kullanılan ısıcam ve low-e cam seçeneklerinin binanın toplam enerji tüketimine etkisi eQUEST (the Quick Energy Simulation Tool) simülasyon programı ile değerlendirilmektedir. Değerlendirme bulgularının her cam tipi ve her derece gün bölgesi için karşılaştırması yapılmakta ve tartışılmaktadır.

Tez çalışmasının son bölümünde, dördüncü bölümde yapılan değerlendirmenin sonuçları özetlenmekte ve bu çerçevede Türkiye yapı sektöründe enerji verimliliğini arttırmak adına uygulanabilecek yöntemler tartışılmaktadır. Simülasyon programlarının Türkiye'de

kullanımıyla ilgili karşılaşılan sorunlar ve kısıtlar irdelenmekte, bu sorunların giderilmesi ve simülasyon programlarının özellikle ön tasarım evresindeki öneminin Türkiye yapı sektöründe anlaşılabilirliğinin sağlanması amacıyla önerilerde bulunulmaktadır.

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji verimliliği, genel bir tanımlamayla enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm aşamalarda mümkün olan en yüksek etkinlikte kullanılmasını ifade etmektedir [12]. 2011 yılında Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılmış olan daha ayrıntılı tanıma göre ise enerji verimliliği ısı, gaz, buhar, basınçlı hava ve elektrik gibi değişik formlarda olabilen enerji kayıpları ile her çeşit atığın değerlendirilmesi, geri kazanılması veya yeni teknoloji ile kullanılması yoluyla üretimi düşürmeden ve sosyal refahı engellemeden enerji tüketiminin azaltılmasıdır [13].

Hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi sebeplerden dolayı her yıl % 4-5 oranında artan dünya enerji ihtiyacına karşı, bugünkü kullanım şartlarında dünyanın en çok kullanılan yakıt türlerinden olan petrol rezervleri 2030-2050 yıllarında, kömür önümüzdeki 150-200 yılda ve doğalgaz ise 40-50 yıl içinde tükenme durumuyla karşı karşıyadır [14]. Ülkelerin ekonomik, sosyal, sanayi ve teknoloji gibi alanlarda sahip oldukları olanaklar ile nihai enerji tüketim sektörlerinin yapısal özellikleri, enerjinin etkin ve verimli kullanımına yönelik çabaların başarımı, sürekliliği ve elde edilen kazanımların boyutu üzerinde etkili olmaktadır.

Türkiye'de enerji verimliliğinin arttırılması için yaygın eğitim çalışmaları, yasal düzenlemeler, kamu ve finans sektörünün enerji verimliliği projelerinin finansman sağlaması gibi konularda son yıllarda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Ancak halihazırda bu olanakların birlikte etkin kullanımı tam olarak gerçekleştirilememiş ve politikaların sonuçları henüz yeterince görülür hale gelmemiştir [15]. Günümüzde konut, sanayi, ulaştırma ve tarım sektörlerinde en önemli girdi haline gelen enerjinin korunumunun sağlanması ve verimli kullanılmasının gelişmişliğin göstergesi olarak kabul edilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesinde büyük katkıları olduğunu göstermektedir [16].

2.1. Dünyada Enerji Verimliliği

Dünyada enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmalar sanayinin gelişmesi, halkın hızla kentlerde yoğunlaşması ve bu olgunun doğurduğu sosyal ilişkiler, XIX. yüzyılın sonundan başlayarak yerleşim bağlamında yeni amaçları ve mimari projeleri belirlemiştir. [Monnier,

1994]. II. Dünya Savaşı sonrası başlayan kalkınma girişimleri birçok ülkeyi ekonomik bakımdan gelişmiş veya gelişmemiş ülkeler olarak ayırmaya başlamış, aynı zamanda dünya için de tehdit oluşturacak birçok çevresel soruna neden olmuştur. Başlangıçta kalkınma adına mazur görülen bu sorunlar yerel olmaktan çıkıp giderek bölgesel ve daha sonra da küresel hale gelmiş, dolayısıyla kalkınma ve doğa arasında denge arayışlarını da beraberinde getirmiştir [17]. Son yıllarda özellikle fosil yakıtların kullanılması, arazi kullanımındaki değişiklikler, ormansızlaşma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimleri hızla artmaktadır [18]. Bu bağlamda dünyada enerji verimliliğini sağlamak üzere yapılan çok sayıda girişim ve proje olduğu söylenebilir.

2.1.1. Dünyada enerji verimliliği ile ilgili yürütülen çalışmalar

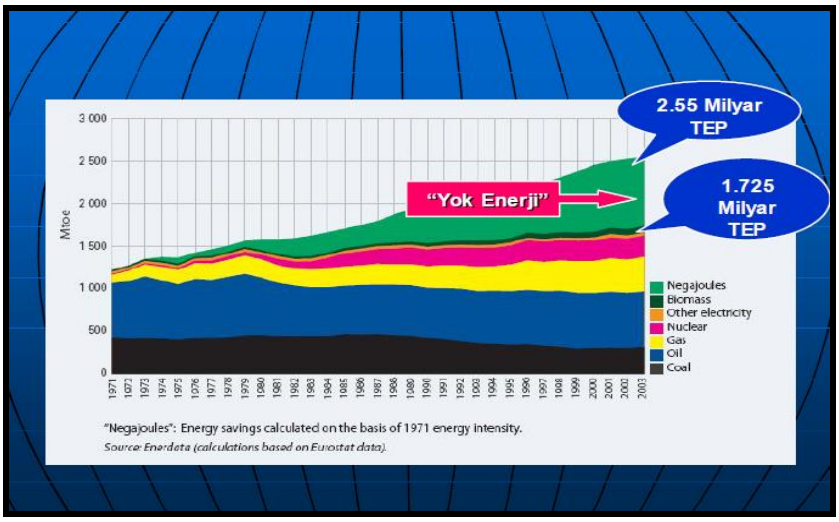
1960'lı yıllarda bilim adamları, plancı ve uzmanlardan oluşan bir kuruluş olan Roma Kulübü tarafından yayınlanan "Büyümenin Sınırları" adlı rapor çevre ile ilgili olan ilk raporlardan biridir. Sözkonusu raporda doğal kaynakların kullanımı açısından yaratılan tehlikelere dikkat çekilmiş ve artan nüfus, gelir ve tüketim karşısında doğal kaynakların sınırları ve büyüme süreçleri sorgulanmaya başlamıştır. 1971 yılında İsviçre'de yapılan bir uzmanlar paneli sonucunda yayımlanan raporda çevre sorunlarının sanayileşmiş ülkelerin üretim ve tüketim yapısından kaynaklandığından söz edilmekte, bu sorunların yoksulluğun ve az gelişmişliğin de bir sonucu olduğu ortaya konmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımını oluşturan bu sonuç, 1972'de Stockholm'de gerçekleştirilen "İnsan ve Çevre" Konferansına birçok gelişmekte olan ülkenin katılımını sağlamıştır [19]. Birleşmiş Milletler tarafından Haziran 1972 tarihinde Stockholm'da gerçekleştirilen "İnsan ve Çevre Konferansı" nda yayınlanan Stockholm Bildirgesi ile insan ve çevre ilişkilerine, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerine, devletlerin ekonomik gelişme sorunlarına, çevrenin korunması konusunda uluslararası işbirliğinin önemine değinilmiş ve insanların sağlıklı ve temiz bir çevrede yaşama hakkı kabul edilmiştir [20]. Stockholm Çevre Bildirgesini 1976 yılında Barcelona Sözleşmesi izlemiştir. 1987'de Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayımlanan ve Ortak Geleceğimiz olarak adlandırılan Bruntland Raporu'nda ise sürdürülebilirlik "Sürdürülebilir kalkınma, günümüzün ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan yapılan kalkınmadır" olarak tanımlanmaktadır [21]. 1980'li yıllarda

iklim değişikliği potansiyel risk olarak kabul edilerek 1988'de Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından bulguların değerlendirilmesi için Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) yapılmıştır [22].

1990 yılında, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından uluslararası bir çerçeve geliştirmek için bir hükümetlerarası müzakere komitesi kurulmasına karar verilmiştir. 1992'de insan kaynaklı çevresel kirliliklerin iklim üzerinde tehlikeli etkileri olduğunu kabul ederek atmosferdeki sera gazı oranlarını düşürmek ve bu gazların olumsuz etkilerini en aza indirerek belli bir seviyede tutmayı sağlamak amacıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) kabul edilmiştir. Sözleşme, Birleşmiş Milletler öncülüğünde hükümetlerarası düzeyde imzalanmıştır. Sözleşmeye 191 ülke ve Avrupa Birliği taraf olmuştur. UNFCCC delegeleri yılda bir kez taraflar kongresinde (COP) bugünü ve gelecekteki eylemleri incelemek için toplanmaktadır. Ağustos 2009 itibariyle Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) imzalanmasıyla 192 ülke sera gazının atmosferik konsantrasyonunu azaltmak ile birlikte "dünya iklim sistemi üzerindeki insan kaynaklı tehlikeli etkiyi önlemek" amacıyla bağlayıcı olmayan hedefleri gönüllü olarak taahhüt etmiştir [22].

Aralık 1997'de, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu'nun üçüncü toplantısında Kyoto Protokolü imzalanmıştır. Protokol, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası tek çerçeve olma özelliğine sahiptir. Protokolün yürürlülüğe girebilmesi için gereken %55'lik karbon salımları oranına protokolün onaylandığı 1997 yılından sekiz yıl sonra Rusya'nın katılımıyla ulaşılabilmiştir. Bu sebeple 1997'de imzalanan protokol, 2005'te yürürlüğe girmiştir [23]. Bu protokol kapsamında gelişmiş ülkeler, 2010 yılına kadar sera gazı salımı oranlarını 1990 yılına göre azaltmayı taahhüt etmişlerdir. 2008-2012 yılları arasında bu taahhütlerden beklenen ortalama salım azalımı yaklaşık olarak %5 olmuştur [22, 24]. Bu taahhütün sonucunda Avrupa'da enerji verimliliğinin nasıl sağlanacağı tartışması ortaya çıkarmıştır. Taahhütün zorluklarını içeren değerlendirmeler 2000 yılında kabul edilerek 2006 yılında revize edilen Avrupa Topluluğu tarafından hazırlanan "Enerji Verimliliğiin Geliştirilmesi için Eylem Planı"nda ortaya konmuştur. Plan, mevcut enerji programlarında yenilik ve takviyeleri

öngörmektedir. Ayrıca plan, yıllık enerji kullanımında %1'lik bir azalmayı önermiştir [25]. Bu kapsamda 1971 yılından bu yana sağlanan enerji tasarrufunun AB enerji tüketimine katkısı Şekil 2.1'de ifade edilmektedir.



Şekil 2.1. 1971 yılı itibariyle sağlanan enerji tasarrufunun AB enerji tüketimine katkısı [26]

Avrupa'da geçmiş senelerde yapılan konferanslar ve uygulamaya alınan protokoller haricinde ilk petrol krizinden beri enerji verimliliği alanında çeşitli politikalar ve programlar geliştirilmiştir. Özellikle 1970 yılına kadar gidildiğinde Avrupa, enerji verimliliğini sağlayabilme adına birçok direktif ve uygulamaları hayata geçirmiştir [27]. Ayrıca bu direktif ve uygulamaların yanında, enerji verimliliğinin en iyi uygulamaları bağlamında yeni teknolojiler ve uygulama programları geliştirilmeye başlanmıştır. Bu programlardan bazıları THERMIE ve SAVE programları olarak öne çıkmaktadır. Söz konusu programların öncelikli geliştirilme amacı enerji verimliliğinin mümkün olduğunca azami düzeyde sağlanması olmuştur. Avrupa'da enerji verimliliğinin gelişmesinde ilk odak nokta, enerji tedariğinin sağlanması olmuş, ancak enerji tüketiminin azaltılması göz ardı edilmiştir. Danimarka'nın 1973 yılında Avrupa Ekonomik Topluluğu'na girmesiyle enerji alanındaki odaklanma değişmiştir. Danimarka, enerji politikasının kontrol ve talebinde farklı fikirler ortaya koymuş ve özellikle Bakanlar Konseyi'nin başkanlığı döneminde Avrupa'da talep temelli bir enerji politikasını savunmuştur [28]. Tüm bu gelişmelere paralel olarak 1987 yılında Avrupa'da binaların enerji dengesi yaklaşımı göz önünde bulundurularak bir direktif önerisi benimsenmiştir. Ancak söz konusu öneri geniş çaplı bir destek almamış ve 1989 yılında "Güçlü Enerji Verimliliği için Özel Eylemler (SAVE)"

başlıklı direktif kabul edilmiştir. Bu direktif, Avrupa'da yeni bir alanın başlangıcını ortaya çıkarmıştır. Böylece Avrupa Komisyonunda yalnızca enerji politikası değil, aynı zamanda çevresel politikaya da dikkat çekilmiştir. Sonuç olarak 1993 yılında SAVE direktifi altı maddeyle, 2002 yılında kabul edilecek Binalarda Enerji Performansı Direktifi'nde de yer almış ve uygulanmaya başlanmıştır. Sözkonusu maddeler aşağıda sırlanmaktadır:

- Binalarda enerji sertifikası
- Isıtma, sıcak su ve iklimlendirme için gerçek kullanımın tespiti için ayrı faturalandırma
- Kazanların muayenesi
- Büyük sanayi tesislerinde enerji denetimi ve dengesi
- Kamu sektöründe enerji tasarrufu için üçüncü şahıs finansman desteği
- Binaların ısı yalıtımı ihtiyaçlarının tespit edilmesi

Tüm dünyanın aşırı petrol ve doğal gaz bağımlılığı, buna paralel olarak petrol fiyatlarındaki artışla beraber dünya ekonomisini ve AB gibi bağımlılığı yüksek ekonomileri olumsuz yönde etkilemesi kaçınılmazdır. Enerji bağımlılığının özellikle bazı ülkeler üzerinde yoğunlaşması AB'de enerji güvenliğini önemli bir tehdit haline getirmektedir. AB enerji stratejisi, sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ve enerji güvenliği üzerine inşa edilmiştir [26]. Tüm bu gelişmelere rağmen hala AB üye ülkeleri arasında binalarda enerji performansı direktifi uygulamalarında yasal düzenlemeler, enerji gereksinimleri, kamuoyu farkındalığının tam olarak hayata geçirilememesi, bina piyasası ve maliyetleri ile bina stoklarının enerji tüketimi alanlarında farklılıklar olduğu ve bir bütünlük sağlanamadığı gözlemlenmektedir.

2.1.2. Dünyada yapılarda enerji verimliliği ile ilgili yasal mevzuat

Bu bölümde yapı sektöründe enerji verimliliğinin sağlanmasına ilişkin yürütülen yasal mevzuat Uluslararası Standardlar Organizasyonu (International Organization for Standardization - ISO), Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE), Avrupa Birliği Bina Enerji Performans Direktifi (2002/91/Ec) ve Avrupa Birliği pencere enerji derecelendirme sistemleri çerçevesinde incelenmiştir.

ISO tarafından enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmalar

Uluslararası Standardlar Organizasyonu (International Organization for Standardization - ISO) tarafından 1947 yılından bu yana tarım ve sağlık, teknoloji, gıda güvenliği gibi birçok sektörü kapsayan 19,500'den fazla uluslararası standart yayınlanmıştır [29]. ISO'nun çevre ile ilgili standartlarından biri olan ISO 14000 Çevre Yönetim Standardları serisinde atık yönetimi ve atık maliyetinin azaltılması, enerji ve malzeme tüketiminde tasarruf sağlanması gibi konular üzerinde durulmuştur [30-35]. ISO 14020 Çevresel Etiketler ve Bildirimler Standardları serisi, ürünlerin çevresel etkileri açısından etiketlenmesinin prensipleri ve posedürleri ile Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 çevresel ürün bildirimlerini kapsamaktadır [36-39]. ISO 14030 Çevre Yönetimi - Çevresel Performans Değerlendirmesi Standardları serisinde yapı ürünlerinin çevresel performans değerlendirmesi ilkeleri üzerinde durulmuştur [40, 41]. ISO 14040 Yaşam Döngüsü Değerlendirme Standardları serisi, yapıların ve yapı malzemelerinin yaşam döngüsü boyunca sebep olduğu çevresel etkilerin belirlenmesi ve değerlendirilmesine ilişkin ilkeleri kapsamaktadır [42-49]. ISO 21930 Bina Yapımında Sürdürülebilirlik-Yapı Ürünlerinin Çevresel Bildirimi Standardları serisi, binalarda sürdürülebilirlik ve yapı malzemelerinin çevresel bildirimlerine ilişkin standardları, inşaat işlerinin çevresel etkilerinin genel prensip ve çerçevesini belirlemekte, yapı ürünlerinin çevresel bildirimleri için binaların yaşam döngüleri boyunca dikkate alınması gereken bir çerçeve sunmaktadır [50].

ASHRAE tarafından enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmalar

Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE), yapılı çevreyi insan sağlığı için sürdürülebilir teknolojilerle ilerletmek amacıyla 1894 yılında kurulmuştur. Bina sistemleri, enerji verimliliği, iç hava kalitesi, soğutma ve sürdürülebilirlik odaklı bir topluluktur [51]. ASHRAE standardları, Amerikan çıkışlı sertifika sistemlerinin gönderme yaptığı standardlardır. Bu standardlar kapsamındaki aktif güneş ısıtması, güneş toplayıcıları ve kullanıcı iç hava kalitesi gibi ölçütler dünyada sürdürülebilir yapı tasarımında dikkate alınmaktadır. Özellikle "ASHRAE 90.1-Yapılar için Enerji Standartları [52]" yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Avrupa Birliği Bina Enerji Performans Direktifi (2002/91/Ec)

Avrupa'da "Güçlü Enerji Verimliliği için Özel Eylemler (SAVE) Direktifi" nin etkisini geliştirmek ve enerji verimliliği sağlamak için daha somut eylemlere ihtiyaç duyulduğu farkedilmiş ve bu bağlamda üye ülkeler arasında bina enerji sektöründeki farklılıkların giderilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Söz konusu gerekçeler 16 Aralık 2002 tarihinde kabul edilen Binalarda Enerji Performans Direktifi'nin koşullarının şekillenmesine olanak sağlamıştır [25]. 16 Aralık 2002 tarihinde Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Konseyi tarafından binalarda enerji performansı ile ilgili konuları içeren "Bina Enerji Performans Direktifi (2002/91/Ec)" kabul edilmiştir. Bu direktifin amacı, binaların enerji performansının azami düzeyde iyileştirilmesi temeline dayanmaktadır. Direktifte özellikle dış iklim ve bölgesel şartların yanında iç mekan gereksinimleri ve maliyet etkinliği parametreleri de göz önünde tutularak gerekli uygulamalar esas alınmıştır [53]. Direktifin kapsamı konut sektörü ve üçüncül sektör (ofisler, kamu binaları, vb.) ile ilgilidir. Ancak, sertifikasyon hükümlerin kapsamı tarihi binalar ve endüstriyel alanları kapsamamaktadır. Direktif, binalarda enerji verimliliğini tüm yönleriyle kapsayan gerçek bir yaklaşımı öngörmekte ancak ev aletleri gibi hareketli ekipmanlar için herhangi bir ölçülendirme getirmemektedir. Ölçülendirme ve zorunlu asgari verimlilik gereksinimleri hakkındaki tedbirler halen uygulanmakta olan Enerji Verimliliği Eylem Planı çerçevesinde devam etmektedir.

Bina Enerji Performans Direktifi'nde enerji gereksinimlerinin düzenlenmesi, enerji performans değerlendirilmesinin yeni ve mevcut binalarda uygulanma esasları, kazanların muayenesi, klima sistemlerinin denetimi ve enerji performansı sertifikalandırılması konuları ayrıntılı olarak yer almaktadır. Direktifte belirtilen beş temel husus; binaların entegre enerji performansının, genel çerçevede hesaplama yöntemlerinin belirlenmesi, yeni binaların enerji performanslarının minimum uygulama gereksinimlerinin belirlenmesi, var olan mevcut büyük ölçekli binaların yenileme de dahil olmak üzere enerji performanslarının minimum uygulama gereksinimlerinin belirlenmesi, binaların enerji sertifikasyonun yapılması, kazanların ve klima sistemlerinin denetim ve muayene işlemlerinin düzenli olarak yapılması ve bunlara ek olarak 15 yaşından büyük ısıtma sistemlerinin yenilenme konularının değerlendirilmesi konularını içermektedir [53].

Binaların enerji performansının sertifikalandırılmasında üye ülkeler direktif çerçevesinde bazı hususları dikkate almak durumundadırlar. Üye ülkeler bina inşa edildiğinde, satıldığında ya da kiralandığında, bina sahibi veya kiracılar tarafından enerji sertifikasyonlarının alınmasını sağlamakla yükümlülerdir. Alınan sertifikaların geçerliliği 10 yıldır. Bu sertifikalandırma yapılırken sözkonusu binanın bloklar halinde ya da ayrı üniteler şeklinde olması durumunda, söz konusu kompleks yapı için ortak bir ısıtma sertifikası oluşturulmaktadır. Binalar için enerji performans sertifikası, mevcut yasal çerçevesinde yer alan referans değerleri içermek zorundadır. Sertifika maliyet etkinliği ve enerji performanslarının değerlerini ortaya çıkaran verileri içermelidir. Üye devletler, kamu otoriteleri ve kuruluşlar tarafından çok sayıda insanın yaşayacağı toplam kullanım alanı 1000 m^2'nin üzerinde ve 10 yaşından büyük olmayan binalar için enerji sertifikasının herkesin rahatça görebileceği bir alana yerleştirilmesi suretiyle hazırlanmasını zorunlu hale getireceklerdir [53]. 2002/91/EC Avrupa Birliği Direktifi 04.01.2003 tarihi itibariyle yürürlüğe girmiş olup, üye devletlerin uygulama tarihi olarak 04.01.2006 tarihi kararlaştırılmıştır [54].

Bina Enerji Performansı Direktifi, ilgili bazı hükümleri açıklamak, düzenlemek ve enerji performans gereksinimlerini güçlendirmek amacıyla Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi tarafından 19 Mayıs 2010 tarihinde revize edilmiştir. Değişiklilikteki amaçlardan birisi, üye devlet düzeyinde enerji verimliliğinin etkin uygulanmasının önemini vurgulamak ve uzun vadeli taahhütle etkili bir şekilde uygulanmasını desteklemektir. Değişiklik yapılan direktifin önemli noktaları; 31 Aralık 2020 tarihi itibariyle AB'de yeni binalar için 'neredeyse sıfır-enerji' tüketmek zorunda olacaktır. Ayrıca kamu otoritelerinin, yeni binaların satın alınması veya kiralanması hususunda 31 Aralık 2018 tarihine kadar binaların enerji tasarrufu için 'neredeyse sıfır enerji prensibini' kamuoyuna örnek bina uygulamalarıyla göstermesi hedeflenmektedir. Neredeyse sıfır ya da çok düşük düzeydeki enerji gereksinimini karşılamak üzere yenilenebilir enerji kaynakları için gerekli destek ve teşviğin sağlanması önerilmektedir. Üye devletler, neredeyse sıfır enerjili binaların sayısının artırılması için ulusal planlar hazırlayacak; özellikle kendi ulusal programlarında, kamu sektöründe, yenilenecek binalarda neredeyse sıfır enerji binaların dönüşümünü teşvik edecek ve komisyonu bu konularda bilgilendireceklerdir. Komisyon, 31 Aralık 2012 tarihi ve her üç yıl sonra, neredeyse sıfır enerji binaların sayısını artırarak, üye devletlerin ilerlemesi hakkında bir rapor yayınlayacaktır. Bu rapor temelinde komisyon, bir eylem

planı geliştirmek, gerekirse bu binaların sayısını artırmak ve neredeyse sıfır enerji binaların içine mevcut binaların maliyetli dönüşüm konusunda en iyi uygulamaları teşvik etmek için tedbirler önerecektir. Büyük bir yenileme için 1000 m² eşiği ortadan kaldırılmıştır. Üye ülkeler, minimum enerji performans gereksinimlerini karşılayabilmek amacıyla uyumlaştırılmış bir hesaplama yöntemi geliştirmek ve mevcut gereksinimler ile maliyet optimum gereksinimleri arasındaki fark %15'den fazla ise komisyona gerekçelendirmek zorunda kalacaktır. Üye ülkeler, daha ayrıntılı bir şekilde enerji sertifikalarının hazırlanması için gerekli prosedürlerin hazırlanmasını sağlayacaktır. Kontrol sistemleri performans belgelendirme doğruluğunu kontrol etmek için üye ülkeler tarafından sağlanacaktır [55].

Avrupa Birliği Pencere Enerji Derecelendirme Sistemleri

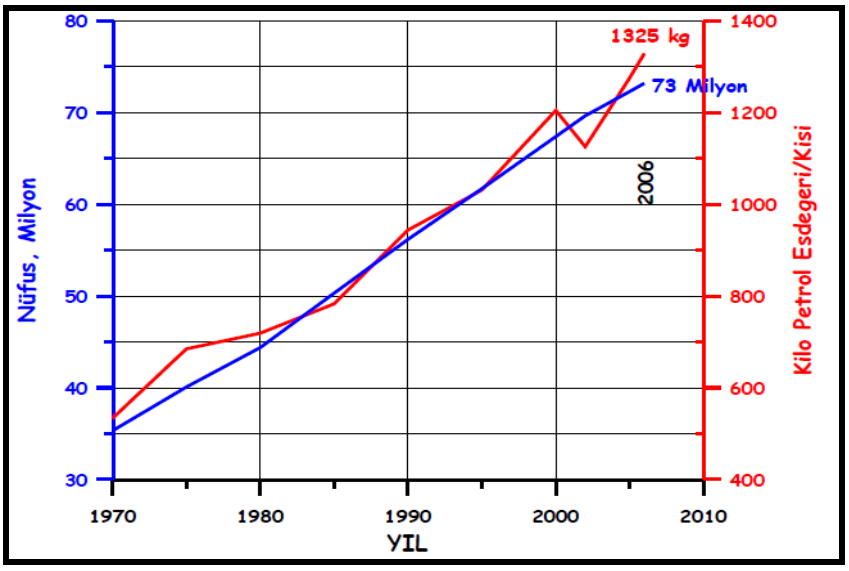
Avrupa'da 2000-2003 yıllarında AB V. Çerçeve programı kapsamında AB üyesi İngiltere, İsveç, Danimarka, Finlandiya, İtalya, Almanya, Hollanda ve Norveç katılımı ile SAVE–EWERS (European Window Energy Rating System, Avrupa Genelinde Pencere Enerji Derecelendirme Sistemi) projesi geliştirilmiştir. Bu amaçla ülkelerin konuya yönelik enstitü, kuruluş ve üniversiteleri işbirliği ile önce konferanslar, sonra da araştırma projeleri gerçekleştirilmiş, proje raporları halinde sunulmuştur. 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 standartlar oluşturulmasına yönelik teknik komisyonlar tarafından yürütülen çalışmalar devam etmektedir. Avrupa Bina Enerji Performans Direktifi'nin devreye girmesinden sonra tüm üye ülkeler, binalardan enerji kaybının hesaplanmasına yönelik ayrıntılı hesaplama yöntemi geliştirmek, ulusal standardlarını revize etmek durumundadırlar. Direktif, üye ülkeleri yönetmeliklerinin detay düzeyini saptamakta serbest bırakmıştır. Bu amaçla ülkeler, bileşen ve bina bazında enerji performansının değerlendirilmesine yönelik yöntemler oluşturmaktadırlar. Bileşen bazında değerlendirmede, tarifleyici performans ölçütlerine 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 ısıtmanın dışında soğutma ve aydınlatma yüklerini de dahil etmektedir [56].Bu tez çalışmasında yapılan değerlendirmede ısıtma dikkate alınmış, soğutma ve aydınlatma değerlendirme kapsamı dışında bırakılmıştır.

2.2. Türkiye Yapı Sektöründe Enerji Verimliliği

Türkiye, Asya ile Avrupa kıtalarının kesişme noktasında bulunmasına dayalı jeopolitik konumu ve dünya enerji kaynaklarının %70'ine olan yakınlığıyla stratejik önem taşıyan bir ülkedir. 783,562 km2'lik yüzölçümüyle dünyanın 34. büyük ülkesi olup, toplam nüfusu 1990 yılında 56,5 milyondan 2009 yılında 72,5 milyona ulaşmıştır. Nüfustaki bu artışla birlikte, şehirleşme oranı 1990 yılındaki %52,9 seviyesinden 2009 yılı sonunda %75,5 seviyesine yükselmiştir [57].

Gelişmekte olan Türkiye için enerji hem gerekli ve hem de stratejik önemi olan özelliklere sahiptir. Tüm dünyanın ilgilendiği; enerjinin güvenli ve sürdürülebilir temini, verimli kullanımı, sera gazı etkilerinin azaltılması ve çevrenin korunması, petrol fiyatlarındaki artma eğilimi, fosil kaynaklardan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru geçiş gibi konular aynı zamanda Türkiye'nin de ilgilenmesi ve ister istemez politikasında yer vermesi gereken konulardır. Özellikle AB üyeliği yolunda ilerleyen bir Türkiye için yapılması öngörülenler, yatırım gereksinimleri, planlamalar ve enerji modellemeleri gündemi yoğun olarak meşgul etmektedir. Avrupa Birliği'ne geçiş aşamasındaki uyum çabaları ile birlikte rekabetçi ve şeffaf enerji piyasaları oluşturma hareketleri enerji konularının gündemde kalmasına neden olmaktadır. Türkiye için nüfus-kişi başına enerji tüketiminin tarihsel gelişimine bakıldığında, 1970-2006 arasındaki 36 yılda Türkiye'de nüfus %107 ve kişi başına enerji tüketimi ise %148 artmıştır. Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de enerji tüketimi nüfus artışından daha hızlı artarken, Türkiye'de kişi başına enerji tüketimi dünyadan daha hızlı artış göstermiştir. Türkiye'de 1970-2010 yılları arasındaki nüfus-kişi başına düşen enerji tüketimi Şekil 2.2'de verilmektedir [58].



Şekil 2.2. Türkiye'de kişi başına düşen enerji tüketimi verileri [58]

2.2.1. Türkiye'de yapılarda enerji verimliliği ile ilgili yasal mevzuat

Türkiye'de enerji alanındaki arz ve talepler optimum seviyelere getirilmedikçe, yakın gelecekte enerjide talebi karşılayamama durumuyla karşılaşılacağı yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur. Bu sebeple, özellikle son dönemlerde enerjiyi maksimum oranda ve en verimli şekilde kullanmayı sağlayacak yasal düzenlemeler aracılığıyla söz konusu tehlikenin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Bu çerçevede 2000 yılından bu yana yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği konularında önemli kararlar alınarak gerekli tedbirlerin yasal temelleri atılmaktadır. Bunun bir parçası olarak 2007 yılı Nisan ayında "Enerji Verimliliği Kanunu" [59] kabul edilmiş olup kanunun yayınlanmasını müteakiben 2007 ve 2008 yıllarında ikincil düzenlemeler yürürlüğe konarak bir dönüşüm süreci başlamıştır [60].

Enerji Verimliliği Kanunu'na göre enerji verimliliği binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşmesine yol açmadan enerji tüketiminin azaltılmasıdır [61]. Bu kanun enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında; endüstride, binalarda, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılması yönünde temel kuralları ve politikayı belirlemiştir [12]. Kanunda endüstriyel işletmeleri, binaları, elektrik enerjisi üretim tesislerini, iletim ve dağıtım şebekelerini kapsayan kanunun bilinçlendirme ve eğitim, enerji verimliliği hizmetlerinin yerine getirilebilmesi için idari yapılanma ve yenilenebilir enerji

kaynaklarının kullanımın yaygınlaştırılması olmak üzere üç temel stratejisi bulunmaktadır [19]

Binalarda ısı kayıplarının azaltılması ve enerji tasarrufu sağlanması amacıyla 9 Ekim 2008 tarihinde 27019 sayılı "*Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği* [62]*"* yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, binalardaki ısı kayıplarının azaltılması, enerji tasarrufu sağlanması ve uygulamaya dair usul ve esasları kapsamaktadır. Türkiye'de binalarda ısı yalıtımı uygulamaları bakımından oluşturulan üç bölgede yer alan il ve ilçelere göre ısı yalıtımı projesindeki ısı geçirgenlik katsayıları, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenmekte, bina tiplerine göre çeşitli ısı yalıtım detayları önerilmekte ve projelendirme ve denetim esasları belirtilmektedir.

Avrupa Birliği mevzuatlarına uyum kapsamında Avrupa Birliği ülkelerindeki binalarda asgari enerji performansı uygulamalarının uygulanması, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, enerji israfının önlenmesi ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemek amacıyla 5 Aralık 2008 tarihinde 27075 sayılı "*Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği* (BEPY) [63]" yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik kapsamında binaların tasarımında imar ve ada parsel durumuna dikkat edilerek ısıtma, soğutma, doğal havalandırma, aydınlatma imkânlarından azami derecede yararlanılması hedeflenmektedir. Bu yönetmeliğin amacı dış iklim şartlarını, iç mekân gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini sağlamak ve yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir [64]. Yönetmeliğe göre bina içerisinde sürekli kullanılacak olan mekânlar güneş ısısı ve ışığı ile doğal havalandırmadan en uygun yararlanacak şekilde yerleştirilmelidir. Binalar TS 825 standardında belirtilen asgari ısı yalıtım şartlarına uygun şekilde, bina kabuğunu oluşturan, duvar, döşeme, balkon, konsol, taban, tavan, çatı ve pencere/duvar birleşimleri ısı köprüsü oluşmayacak şekilde yalıtılmalıdır. Ayrıca yönetmelikte yapı ruhsatına esas olan kullanım alanı 2000 m^2'nin üzerindeki oteller, hastaneler, yurtlar gibi konaklama amaçlı konut harici binalar ile spor merkezlerinde merkezi sıhhi sıcak su sisteminin planlanması şart

konulmuştur. Yönetmelik kapsamında binaya verilecek olan *"Enerji Kimlik Belgesi"* düzenleme tarihinden itibaren 10 yıl süre ile geçerli olacak ve yeni binalar için yapının kullanım izin belgesinin için önkoşul konumunda olacaktır [65].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 27 Ekim 2011'de enerjinin etkin kullanılması, enerji israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına ilişkin "*Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik* [66]" hazırlanmıştır. Bu yönetmelikte enerji verimliliğini arttırmak için uygulanacak önlemler atık ısının geri kazanımı, istenmeyen ısı kayıpları veya ısı kazançları en alt düzeyde olacak şekilde projelendirilmesi ve uygulamanın projeye uygun olarak gerçekleştirilmesinin sağlanması, yenilenebilir enerji, ısı pompası ve kojenerasyon uygulamalarının analiz edilmesi, aydınlatmada yüksek verimli armatür ve lâmbaların, gün ışığından daha fazla yararlanılması, elektrik tüketiminde kayıpların önlenmesi, sıcak ve soğuk yüzeylerde ısı yalıtımının standartlara uygun olarak yapılması, ısıtma, soğutma, iklimlendirme ve ısı transferinde en yüksek verimin elde edilmesi gibi etkenler olarak belirtilmiştir [66].

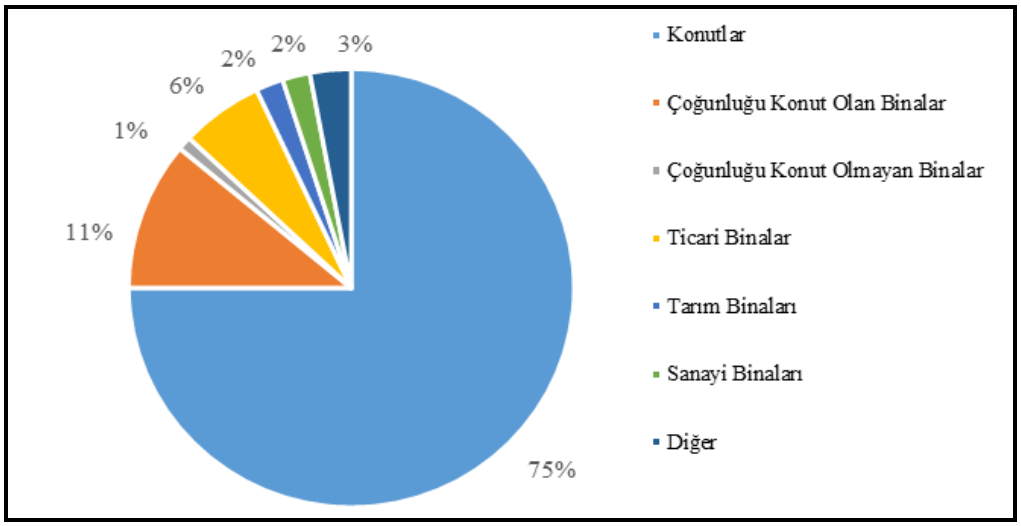
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordinatörlüğünde kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımı ve işbirliğiyle hazırlanan "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023" 25.02.2012 tarihinde 28215 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir [67]. Bu belge ile sonuç odaklı ve somut hedeflerle desteklenmiş bir politika belirlenmesi ve hedeflere ulaşmak için yapılması zorunlu eylemlerin, bu eylemlerin yerine getirilmesinden sorumlu kuruluşlarla birlikte tanımlanması ve kamu kesimi, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımcı bir yaklaşımla ve işbirliği çerçevesinde hareket etmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca belge kapsamında, 2023 yılında Türkiye'nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmektedir. Belgede diğer tüm enerji verimliliği stratejilerinin yanında binaların enerji taleplerini ve karbon salımlarını azaltmak; yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir binaları yaygınlaştırmak amaçlanmaktadır. Bununla birlikte, binalara azami enerji ihtiyacı ve azami salım sınırlaması getirilmesi, 2017 yılından itibaren karbondioksit salım miktarları ilgili mevzuatta tanımlanan asgari değerlerin üzerinde olanlara idarî yaptırım uygulanması, 2010 yılındaki yapı stokunun en az dörtte birinin 2023

yılına kadar sürdürülebilir yapı haline getirilmesi ve toplu konutlarda yerinden üretim uygulamalarının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

2.2.2. Türkiye'de konutlarda enerji tüketimi

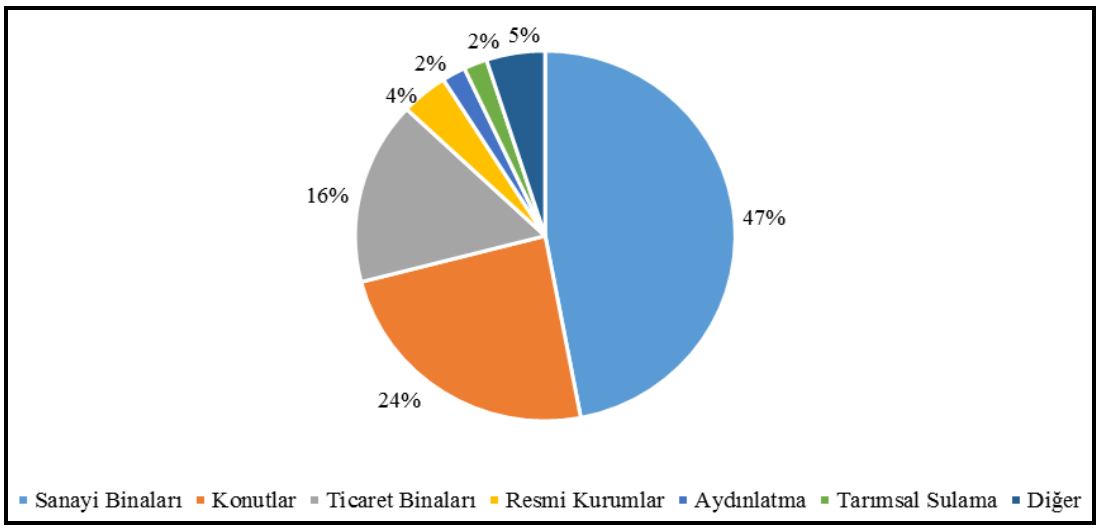
Nüfus artışı, kentleşme ve gelişen sanayi sonucunda doğal kaynakları tehdit eden kirlenmeler, insanlığın en önemli sorunlarından biri olmuştur. Dünyada temiz su kaynaklarının % 17'si, orman ürünlerinin % 25'i ve enerji kaynaklarının % 40'ı yapı sektörü tarafından tüketilmektedir [1-3]. Türkiye'de tüketilen kaynakların % 28'i öz kaynaklardan karşılanmakta, % 72'si ise ithal edilmekte ve bu oran gün geçtikçe artmaktadır [4, 5]. Bu oranlara paralel olarak Türkiye yapı sektöründe enerji kavramı önem kazanmıştır [6]. Türkiye'de birim hacmi ısıtmak için harcanan enerji Almanya'dan % 50, Amerika'dan % 60, İsveç'ten % 73 daha fazladır [7]. Bu sebeple Türkiye'de enerji verimliliği yüksek binaların yapımı teşvik edilmeli ve mevcut yapı stoğunun sürdürülebilir dönüşümü gerçekleştirilmelidir.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2001 yılında hazırladığı "Bina Sayımı" raporuna göre binaların kullanım amaçlarına göre dağılımında toplam bina sayısı içinde en fazla payı % 75 ile yalnızca konut amaçlı kullanılan binalar almaktadır. İçinde hem konut hem de konut dışı kullanım amacı bulunan binalar ise % 12'lik bir paya sahiptir. Bunları % 6 ile ticari yapılar ve % 2 ile sanayi yapıları takip etmektedir [68]. Bu oranlar, Şekil 2.3'te sunulmaktadır.



Şekil 2.3. Mevcut bina stokunda binaların kullanım amaçları kapsamında oranları [68]

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2010 verileri kapsamında en fazla enerji tüketimine sebep olan sektör sanayi sektörü olarak gözlemlenmektedir. Şekil 2.3'da ifade edildiği gibi mevcut bina stokunun çoğunluğunu oluşturan konut yapıları, nihai enerji tüketiminin % 35'inden sorumlu tutulmaktadır. Bakanlığın 2011 verilerine göre ise konut sektörünün doğal gaz tüketiminde %26'lık paya sahip olduğu söylenebilir [69]. TÜİK'ten alınan veriler ışığında, 2011 yılında sektörlere göre toplam elektrik tüketiminde sanayi sektörü %47.28, konut sektörü % 23.79, ticaret sektörü ise toplam elektrik tüketiminin %16.40'ından sorumlu tutulmaktadır. Bu oranlar, Şekil 2.10'de sunulmaktadır [70].



Şekil 2.4. 2011 yılında sektörlere göre elektrik tüketiminin dağılımı [70]

TÜİK verilerine göre Türkiye'de 1984 yılında yapılan bina sayımında belediye sınırları içinde 7.096.277 konut birimi olduğu saptanmış, 2000 yılında yapılan sayımda ise % 129'luk artış ile 16.235.830 konut birimi tespit edilmiştir. Binaların yaş dağılımı incelendiğinde Türkiye'de en hızlı yapılaşmanın % 77'lik oranla 1970 sonrasında gerçekleştiği ve binaların ortalama yaşının 21 yıl olduğu gözlemlenmektedir [68]. Gayrimenkul ve Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı Derneği (GYODER) tarafından yapılan araştırmada, 2011 yılında kentsel alanlarda bulunan konut sayısının 18.063.800 olduğu belirlenmiştir [71].

TÜİK'in yaptığı 1998 hane halkı enerji tüketim araştırması kapsamında, mevcut binaların % 84'ünün tek camlı olduğu ve yalnızca % 16'sının çatı yalıtımına sahip olduğu görülmektedir. İZODER'in algılama araştırması verilerine göre ise, tüketicilerin yalnızca

%9'unun ikamet ettikleri binalara yalıtım uygulaması yaptırdığı gözlenmektedir [71]. GFK Türkiye (Growth from Knowledge) tarafından 2009 yılında yapılan Türkiye'nin enerji verimliliği bilinci araştırması kapsamında, konutlarda kullanılan enerjinin % 82'sinin ısıtma amaçlı tüketildiği, konutların sadece % 20'sinde yalıtım bulunduğu, % 58'inde çift cam, % 39'unda tek cam ve % 6'sında yalıtımlı cam olduğu tespit edilmiştir [72]. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Hane Halkına Yönelik Enerji Verimliliği Araştırma Raporu'na göre ise konutların % 74.8'inin duvarlarında ve çatısında ısı yalıtımı bulunmadığı, sadece % 13.9'unun duvarlarında ve çatısında ısı yalıtımı bulunduğu anlaşılmaktadır. Aynı rapora göre pencerelerin % 60'ı çift cam, % 39.2'si tek cam ve % 0,9'u kaplamalı camdır [73].

Bu bağlamda, bu tez çalışmasından elde edilen değerlendirme sonuçlarının Türkiye'de farklı derece gün bölgelerinde yer alan konutlarda tasarım aşamasından itibaren tercih edilebilecek enerji performansı yüksek cam yapı malzemesi seçeneklerinin belirlenmesinde rehber niteliğinde olabileceği düşünülmektedir.

3. CAM YAPI MALZEMELERİ

Yapı sektöründe saydamlık konusu daima önemli bir sorun ve ulaşılması gereken bir hedef olmuştur. Geçmişteki teknik sınırlamalar günümüzde yerini geliştirilmiş malzeme özelliklerine ve tasarım esnekliğine bırakmıştır [74]. 20. yüzyılda hiçbir teknolojik gelişmenin cam alanındaki yenilikler kadar önemli olmadığı düşünülmektedir. Cam malzemenin teknolojik olanaklarının yanında estetik olanakları da büyük ölçüde geliştirilmiştir [75]. Endüstri Devrimi öncesinde yapılar büyük çoğunlukla yük aktaran masif duvarlarla taşınmaktaydı. Bu taşıyıcı duvarlar, strüktürel ve ısıl bariyer görevi üstleniyordu. Dökme demir ve çelik çerçevelerin 19. yüzyılda geliştirilmesi ve ardından betonarme çerçevelerin ortaya çıkması, taşıyıcı masif duvarlı yapılara olan bağımlılığı ortadan kaldırmıştır. Bundan sonra strüktürel çerçevelerin sağladığı olanaklar ve teknolojik gelişmelerin de yardımıyla cephe tasarımında daha yenilikçi yöntemler, maliyeti daha yüksek olan çerçeveli cam cephe sistemleri ve giydirme cephe sistemleri ortaya çıkmıştır [74].

Günümüzde geliştirilmiş olan çok çeşitli tür ve özellikte cam malzeme bulunmaktadır. Bu bağlamda bu bölümde öncelikle camın tarihsel gelişimi ile ilgili bilgi verilmekte ve cam malzemenin teknolojik özellikleri sunulmaktadır. Sunulan bilgiler çerçevesinde cam malzemenin yapılarda kullanımı incelenmekte ve Bölüm 2'de sözedilen enerji verimliliği kapsamında cam yapı malzemelerinin enerji performansı parametreleri sınıflandırılmaktadır.

3.1. Camın Tarihsel Gelişimi

Cam yaklaşık 4000 yıl önce doğu Mezopotamya'da bulunmuştur. Camın ilk keşfinden 2000 yıl sonra üfleme cam ortaya çıkmış böylece binalarda pencereler için dayanımlı ince şeffaf levhaların yapılması mümkün olmuştur. 1500 ^{o}C'ye kadar yükselen ısı tekniğinin uygulandığı üfleme cam yöntemi Suriye ve Mısır'da yaygın olarak tabak yapımında kullanılmıştır. Chance ve Harley şirketleri ise 1832'de İngiltere'de Avrupa'ya ihraç etmek için büyük boyutlu üflemeli levhalar üretmeye başlamıştır. Üflemeli levhaların büyük boyutlarda üretimi, 19. yüzyılın başından itibaren şeffaf cam duvarların kullanımının yaygınlaşmasını sağlayarak hafif ve havadar görünümlü yapıları beraberinde getirmiştir. Bu

tip yapıların ilk örneklerinden biri John Paxton'ın 1851'de Londra Sergisi için yapılmış olan Crystal Palace binasıdır [74]. Crystal Palace'ın yapı sektöründeki önemi, yapımında dökme demir elemanlar kullanılması değil aynı zamanda camın ustalıkla kullanılmasında yatmaktadır. Cam ve demirin birlikteliğinin geliştirilmesiyle yapıda 7.3 m x 1.25 m boyutlarında cam paneller kullanılarak geniş cam cepheler yapılabilmiştir. Benzer şekilde 1855-56'da John Baird tarafından Glasgow'da atölye olarak tasarlanan Gardner's Store binasının cephesinde tamamen cam kullanılmıştır [76].

1871'de kentin büyük bölümünün zarar görmesine neden olan Chicago yangını, dökme demirden diğer malzemelere oranla daha iyi yararlanılacağını göstermiştir. O dönemde asansörün de icat edilmesi yapıların yükselmesine neden olmuş ve 1870-1880'lerde Chicago'daki yapıların cephelerinde büyük cam cepheler kullanılmaya başlanmıştır. 1879'da William Jenney'in 7 katlı Leither Binası bunlardan biridir. Binada, üç açıklıklı dökme demir dikmeli sistem ve iskeletler arasını geçen döşeme kirişleri ofislere mümkün olduğunca fazla ışık alacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı düşünce 9 katlı Willoughby Binasında da uygulanmıştır. 1895'te Chicago'daki Reliance Binası'nın çelik çerçeve strüktürünün cephesinde, hafif malzeme ve cam yüzey kaplaması olarak kullanılmıştır. Aynı yıl Adler ve Sullivan, çok katlı ve çelik çerçeve sistemlerin cephelerine cam sistemleri uygulamıştır. Özellikle taş ofis yapılarında kullanım alanının duvar kalınlıklarıyla azalması nedeniyle çelik iskelet ve cam cephe sistemlerinin avantajları daha da belirginleşmiştir [76].

19. yüzyıl ortalarında Fransız ve İngilizler tarafından üflemeli plaklara göre oldukça pahalı fakat daha kaliteli olan cilalı dökme plak üretimi başlamıştır. Bu üretimle birlikte 1852-1854'te Paxton Buckinghamshire'de Mentmore Tower'ın zemin döşemesinde büyük cam levhalar kullanılmıştır. Özellikle mağazaların büyük cephe boşluklarında cam kullanma fikri ana caddede mağazaları olanlar için cazip hale gelmiştir. Aynı dönemde, geniş hacimli mekanlarda kolonsuz iç mekan ve gün ışığının mekanın derinliklerine kadar alınması gibi gereksinimler ortaya çıkmış ve tasarımcılar bu gereksinimleri cam malzemeyle sağlayabilme olanağı yakalamışlardır. 19. yüzyıl ortalarında popüler hale gelen alışveriş amaçlı olarak bir ucu açık bir iç sokak olarak yapılan arkadların üzerinin örtülmesi için de cam çatılar kullanılmıştır. Fontaine tarafından 1829'da tasarlan cam tonozlu Galerie d'Orleans ilk önemli alışveriş arkadıdır. 1914'te Bruno Taut tarafından Köln'de Werkbund Fuarı için yapılan Poligonal Cam Ev Pavyonu'nda tamamen cam malzeme kullanılmıştır

[76]. San Fransisco'da 1917 yılında Willis Polk tarafından yapılan Hallidie Binası, ilk cam giydirme cepheli bina olarak kabul edilmektedir [74]. 1920 ve 1930'lu yıllarda yeni cam malzemeler ve tespit teknolojileri geliştirilmiştir. Aynı dönemde cam ve hafif şeffaf plastiklerin de artmasıyla tasarımcılar yeni ve zengin tasarım olanakları bulmuştur. Örneğin, Mies van der Rohe'nin cam duvarın iç yansıma olasılıklarını keşfetme ve ışığın açısını değiştirme hayali yarım yüzyıl sonra gerçeğe dönüşmüştür [77].

20. yüzyılda cam malzeme teknolojik ve estetik özellikleri bakımından olduğu kadar ısıl, optik, dayanıklılık, yüzey kaplama özellikleri bakımdan da tasarımcılara mükemmel tasarımlar yaratma olanağı sunmaya başlamıştır. Pencerelerin saydamlık özelliğinin olumsuz etkilerinin giderilmesi amacıyla güneş kontrolü ve ısı yalıtımı sağlayan yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Berrak, yansıtıcı ve renkli camlar, düşük salımlı film kaplamalar (Low-e) ve argon, krypton gibi düşük iletkenlik değerine sahip gazlarla bütünleştirilerek yalıtımlı cam bileşenleri oluşturulmuştur. Bu bileşenler, bina tipi ve iklim koşullarına bağlı olarak toplam enerji tüketiminin azaltılmasında önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca ısı yalıtımlı cam ünitelerinin dış katmanlarında renkli ve yansıtıcı camların kullanılması ile güneş kontrolü de sağlanmaktadır [78].

3.2. Camların Özellikleri

Cam; inorganik esaslı, amorf bünyeli, sabit erime noktası olmayan, çok yüksek sıcaklıklarda akıcılık kazanan, soğuyunca katılaşıp durgunlaşan, sıvı maddelerin özeliklerini gösteren, ayrıca normal sıcaklıklarda kristalleşme göstermeden hızla katılaşıp katı maddelerin mekanik özelliklerini de taşıyabilen bir silikat sistemdir [79]. Bu özellikleriyle cam malzemeciler tarafından aşırı soğutulmuş sıvıya benzetilmektedir. Cam, silikonoksitler, germanyum, boron, fosfor ve arsenik gibi birçok kimyasal bileşenden oluşabilmektedir. Ancak genel olarak camın ana bileşeni silisyum dioksittir [80]. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak cam malzeme üretiminde estetik açıdan olduğu kadar teknik bakımdan da çok büyük gelişmeler olmuştur. Bu bölümde cam malzeme, ısıl, optik ve dayanıklılık özellikleri açısından incelenmektedir.

Camın teknik özellikleri, ısı ve ışınım geçirgenliğiyle ilişkili olarak ısıl açıdan, ışık geçirgenliğiyle ilişkili olarak optik açıdan ve kırılganlığıyla ilgili olarak da dayanıklılık açısından ele alınabilir. Camın ışınım geçirme değerinin saptanması için yansıma, soğurma

ve iletim değerleri önemlidir. Soğurulmuş ışınım, ısıya dönüşmekte daha sonra bu ısı, ışınım ya da ısıyayım yoluyla camın yüzeyinden dağıtılmaktadır. Camın ışık geçirgenliği ve ısı kazanım/kaybının değerlendirilmesi için ışık geçirgenliği (T), toplam güneş enerjisi iletkenliği (g-faktörü) ve ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) kullanılmaktadır. Işık geçirgenliği (T), insan gözünün algıladığı doğrudan iletilen ışık ile ilgilidir. Toplam güneş enerjisi geçirgenliği (g-faktörü), camdan geçerek doğrudan iletilen ışınımın enerji iletkenliği (Te) ile ışınım, taşınma ve ısıyayım sonucu camdan oda içine yayılan ikinci ısı iletimi qi'nin toplamıdır [74, 81].

3.2.1. Camın ısıl özellikleri

Camın ısı geçirgenliği, ısı kaybı açısından önemli bir faktördür ve ısıtma giderlerine olumsuz etkisi olmaktadır. Işınım (radyasyon) yoluyla olan ısı kayıpları cama uygulanan bazı kaplamalarla azaltılabilmektedir. Konveksiyon ise cam hamuruna eklenecek bazı katkılar ile kontrol edilebilmektedir. Camın ısısal genleşme değeri de kimyasal yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [74].

3.2.2. Camın optik özellikleri

Yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının sadece bir bölümü görülebilir durumdadır. İnsan gözü 380-780 nm dalga boyu arasındaki ışığı görebilme yeteneğine sahiptir. Ultraviyole (UV) ışınları ve kızılötesi (infrared-IR) ışınları göremez. Güneş ışınımının spektral yoğunluğunun en yüksek noktaya ulaşıncaya kadarki alanı insan gözü tarafından görülebilir [80, 82]. Bu durumda binalarda kullanılan cam yapı malzemesinin ışık geçirgenlik özelliği önem kazanmaktadır. Camın saydam bir malzeme olması, binalarda kullanımını yaygınlaştıran en önemli özelliğidir. Işık geçirgenliği ve dolayısıyla saydamlığı, süpersoğutma sürecinin bir sonucudur. Camın kristal yapıda olmaması, ışık ışınlarının kırılmadan camdan geçmesini sağlamaktadır [74].

3.2.3. Camın dayanıklılık özellikleri

Bölüm 3.2'de ifade edildiği gibi camın ana bileşeni silisyum dioksittir [80]. Yüksek düzeyde silisyum dioksit içermesi camın sertliği ve dayanıklılığı açısından önem taşımaktadır. Ancak bu durumda camın kırılganlığı da artmaktadır. Camın yapısı plastik deformasyonları karşılayabilecek özellikte değildir. Ani kırılmaya yol açacak gerilme noktasına kadar elastik deformasyon gösterebilmektedir. Camın teorik olarak gerilme dayanımı 10_4 N/mm^2'dir. Ancak deneyler etkin bir gerilme dayanımı ile maksimum 30-80 N/mm^2'ye kadar ulaşabildiğini göstermektedir. Cam daha uzun süre çekme gerilmesine maruz kaldığında 7 N/mm^2'lik dayanım göstermesi beklenebilir. Bu dayanım düşüşü camın tamamen düzgün yapıda bir malzeme olmamasından, yüzeyinde yapım sürecinde oluşan mikro-çatlaklar ile tepe ve çukur noktalarının bulunmasından kaynaklanmaktadır [74]. Camın bu düşük çekme gerilmesi bazı ısısal ve kimyasal işlemlerle 120 N/mm^2'ye kadar çıkarılabilmektedir. Isısal işlem camın 685 ^{o}C'ye kadar ısıtılıp, aniden soğuk hava akımına maruz bırakılması anlamına gelmektedir. Bu bir çeşit öngerme işlemidir. Bu yöntemle üretilen cam kırılma durumunda keskin parçalara ayrılmaz. Bu nedenle güvenlik camı olarak adlandırılmaktadır [83]. Diğer bir işlem de kimyasal sertleştirmedir. Bu işlemde cam, elektroliz banyosu içine daldırılarak, camın dış yüzeyinin basınç altında sodyum iyonları ile kaplanması sağlanır. Isısal sertleştirmeden sonra yapılan bu kimyasal sertleştirme işlemi ile cam deforme olmaz, yüzey tabakasının derinliği azalır ve camın daha ince tabakalar halinde sertleşmesi sağlanmış olur [84].

3.3. Yapılarda Cam Malzemenin Kullanımı

Mimarinin değişim süreci içinde günümüz mimarlığına gelinceye kadar bu gelişim ve değişimden en çok etkilenen öğelerden biri de yapıların dış cepheleri olmuştur. Le Corbusier mimarlığın tarihi için "bu pencerenin mücadelesinin öyküsüdür" diye bir tanımlama yapmıştır. Endüstri Devrimi ile ortaya çıkan üretim ve mühendislik alanlarındaki buluşlar sayesinde gelişen yapım sistemleri sonucu, bina cephelerinde daha özgür pencere boşluklarının açılmasına olanak sağlanmış, böylece pencerelerden beklenen işlevler de boyut değiştirmiş, bilinen en eski malzemelerden biri olan cam, uzun bir gelişim süreci sonunda günümüz mimarlığındaki yerini almıştır. Bölüm 3.1'de de ifade edildiği gibi 20. yüzyılın ilk yarısından itibaren sadece pencerelerde kullanılmayıp, modern bir yapı

malzemesi olarak cephenin tamamına taşınan cam malzeme, yapıdaki önemi her geçen gün artan vazgeçilmez bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Cam malzemenin yapı kabuğunda kullanılmaya başlanması ile birlikte, bu tür yapılarda kullanılan camlardaki beklentiler, klasik pencere camlarından beklenen performansı aşmaktadır. Bu camların güneşin parlaklığı, güneşin radyasyon ısısı, genel ısı farklılaşması, dış ortam gürültüsü ve cam mukavemeti gibi pek çok etkenin kontrolüne yanıt verebilecek nitelikte olmaları gerekmektedir [85].

Günümüzde, doğal aydınlatma sistemlerinin gelişen teknoloji ile birlikte gelişmeleri sonucunda günışığının etkin kullanılmasına olanak vererek enerji tasarrufu sağlayan ve direkt güneş ışığını engelleyerek görsel konfor koşullarının sağlanmasında etkili olan çağdaş sistemler tasarlanmaktadır. Bu sistemler, binalarda aydınlatma amacıyla tüketilen elektrik enerjisini olabildiğince azaltmayı ve bunun yanı sıra iç mekanın ışık kalitesini önemli oranda arttırmayı hedeflemektedirler. Bu sistemlerin bina tasarımıyla bütünleştirildiği yaklaşımlar yaygınlaştıkça, yapma çevrede görsel ve ergonomik gereksinmelerin karşılanması, iklimsel konforun sağlanması, enerji tüketiminin minimize edilmesi ve yenilenebilir enerji (gün ışıgı) kullanımının artarak çevresel ve yaşamsal kalitenin de büyük oranda artması gerçekleştirilecektir. Son yıllarda gün ışığı sistemleri üzerinde yapılan yoğun çalışmalar sonucunda gelişmiş gün ışığı sistemlerini piyasalarda daha geniş ölçüde görmek mümkün olmaktadır. Bunlar arasından doğru seçimi yapmak ancak bu sistemleri daha yakından tanımakla mümkündür [86].

Yapılarda çok çeşitli cam türleri kullanılmaktadır. Bunların her biri kendine özgü özellikler taşımaktadır. Bu tez çalışmasında camlar normal camlar, yüzey kaplamalı camlar, güvenlik camları ve tabakalı camlar olarak sınıflandırılmıştır. Tezin dördüncü bölümünde yapılan değerlendirmede normal camlar ve low-e camlar dikkate alınmıştır.

3.3.1. Normal camlar

Normal cam, saydam-renksiz cam ve renklendirilmiş cam olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılabilir. Yapılarda yoğun olarak pencere camı olarak kullandığımız saydam-renksiz cam 2, 3, 4, 5, 6, 7 mm kalınlıklarda olmak üzere üretilmektedir. Renklendirilmiş camlar; normal cama metal oksitlerin eklenmesiyle elde edilir. Camın kaplama rengi böylece camın

ısı emme oranı artar. Kaplamalı camın kullanılmasıyla beraber güneş enerjisinin iç mekana geçişinde 1/3'lük bir oranda azalma görülür. Bu camın olumsuz yönü ısıyı emmesinden dolayı sıcaklığın sürekli artmasıdır. Renklendirmeler sayesinde ışık filtre edilir, elektrik iletir, ışık ile ısı yansıtılır ve dekoratif etki elde edilir. Cephe kaplama renkleri olarak yeşil, mavi, pembe, bronz ve griye rastlanmaktadır. Kullanım olarak en çok yeşil renk tercih edilmektedir. Yeşil cam sadece düşük seviyeleri geçirmekte ve içindeki demir oksit 700 dalga boyu ile 2500 dalga boyu arasındaki ışımayı iyi şekilde emmektedir. Günümüzde enerji probleminden dolayı, tek tabakalı camdan yapılan cephelerin, ısıtılan binalarda uzun bir süre kullanılmaları kabul edilebilir değildir [87].

3.3.2. Yüzey kaplamalı camlar

Camın güneş kontrolü ile ilgili özellikleri ışınım iletkenlik değerine bağlı olarak değişir. Işınım iletkenlik değeri, bazı metal ve metal oksitlerden elde edilen kaplama katmanlarının cam üzerine uygulanmasıyla değiştirilebilmektedir. Bu tip kaplamalar ışınım iletkenlik hızını ve yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir [88]. Camda etkili bir güneş kontrolü, camın yansıtıcı ile kaplanması ile elde edilir. Yansıtıcı kaplamalı camlar beyaz camın veya renklendirilmiş camın bir yüzünün metalle kaplanması ile elde edilir. Kışın ısınma, yazın soğutma giderlerini azaltmak ve bina içindeki yaşam ve çalışma alanlarının konfor düzeyini iyileştirmek için kaplamalardan yaygın ve etkili bir biçimde yararlanılmaktadır. Cam binaların yansıtıcı güneş kontrol kaplamaları ile görünmez nitelikli ısı kontrol kaplamaları, aslında cam yüzeyi ile bütünleşen metal veya metal alaşımlardır [87]. Yüzey kaplamalı camlar low-e kaplamalı, soğuk ayna camlar ve seramik-emaye kaplamalı camlar olarak sınıflandırılabilir.

<u>Low-e Kaplamalı Camlar</u>

Güneş ışınları kısa dalga boyları şeklinde yayılır ve binanın içine camlardan girerler. Odanın içine girmiş olan kısa dalga boylu güneş ışınları, odada bulunan eşyalar tarafından emilir. Isınan eşyalar geri ışıma ile ortama uzun dalga boylu ışıma yaparlar. Uzun dalga boylu ışıma aynı zamanda odadaki ısınma sistemleri tarafından da yayılır. Low-e camlarda uzun dalga boylu ışımaları kontrol altına alınır [89].

Düz cam, üzerinde herhangi bir kaplama olmadığı için ısıyı kısa zamanda soğurur ve iletir. Low-e kaplamalı camlar ise soğuk dış ortama transfer edilen ısıyı azaltır. Beyaz düz camın yerine low-e kaplamalı cam kullanılmasıyla içerideki ısının dışarıya kaçması üç kat fazla engellenebilmektedir. Low-e kaplamalı cam birimlerinin içerideki cam yüzeyinde kalın bir metal kaplama bulunmaktadır. Bu kaplama enerji tarafındaki ultraviyole ve UV dalga boylarını yansıtır. Low-e kaplamalar yüksek ışık geçirimine sahip olduğu için doğal gün ışığının kullanımına olanak verir ve kısa dalga güneş enerjisinin büyük bir bölümünü içeri geçirir. Güneş ışınlarını soğurarak ısınan halı, mobilya, duvar ile radyatör, aydınlatma armatürleri, insan vücudu gibi kaynaklardan yayımlanan uzun dalga ışınım pencerelerden dışa kaçarken low-e kaplamalar tarafından görünmez bir ayna gibi tekrar içe yansıtılarak ısının kaçışı önlenmektedir. Low-e kaplamalı camlar, yapı içi ve dışı arasındaki ısı alışverişini geciktirerek öncelikle ısıtmada ayrıca soğutmada da kazançlar sağlayan ünitelerdir [90].

Soğuk Ayna Kaplamalı Camlar

Soğuk ayna kaplamalar, low-e kaplamaların tersi şeklinde çalışmaktadır Görülebilir ışık ışınlarını yansıtmakta, kızılötesi ışınların geçişine olanak sağlamaktadır. Bu tip kaplamalar özellikle ameliyathane gibi yerlerde kullanılan dikroik lambaların yansıtıcılarında uygulanmaktadır. Yansıtmasız kaplamalar ve dikromik kaplamalar olarak sınıflandırılabilir.

Yansıtmasız kaplamalar normal camın yansıtma değerini % 9'dan % 2-3'e indirerek ışık geçişini artırmaktadır. Bu da yüksek yapıların cephe tasarımı açısından önemli bir tasarım ölçütü olarak kabul edilebilir. Bu tip camlar sadece camın arkasındaki nesnelerin görüntülenmesi amacıyla değil, aynı zamanda çeşitli cam katmanlarından oluşan ünitelerde yansımayı engellemek amacıyla da kullanılmaktadır [89].

Dikroik kaplamalar ise genellikle ölçme ve laboratuvar aygıtları içindeki özel filtre camlarında kullanılmaktadır. Bu kaplamalar, yinelenme derecesine bağlı dalga boylarından bir kısmını geçirip kalanı yansıtır. Bu olay, ışığı spektral renkler içine bölerek çeşitli optik etkilerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu sebeple dikromik camlar son yıllarda yapı tasarımında da estetik amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır [84].

Seramik-Emaye Kaplamalı Camlar

Seramik-emaye kaplamalı camlar, hava etkilerine dayanıklı ince bir seramik tabakanın bir doku düzeni içinde camın yüzeyine uygulanması ile elde edilmektedir. Çeşitli katkı maddeleri ve renk pigmentleri ile oluşturulan seramik malzeme eritilerek temperlenmiş cam yüzeyine yaklaşık 650 ^{o}C ısı altında yapıştırılmaktadır. İşlem sonunda cam hava ile soğutularak camın yüzeyine gerekirse tekrar yansıtıcı bir kaplama tabakası uygulanabilir. Seramik-emaye kaplamalı camlar güneş ışınlarının yaklaşık % 25'ini yansıtmaktadır [91]. Genel olarak camın kaplamalı yüzey alanından hemen hemen hiç güneş ışığı geçmediği kabul edilmektedir. Günümüzde bu tip cam paneller çeşitli desenler ve noktalar, çizgiler, ağ örgülere sahip olarak üretilebilmektedir [92]. Böylece günışığına maruz kalan mekanların üst veya düşey camlamalarında, doğrudan alınan günışığının rahatsız edici etkilerinden de korunma sağlanmaktadır [93].

3.3.3. Güvenlik camları

Güvenlik camları, temperli ve tabakalı camlar olarak nitelendirilmektedir. Temperli camlar kırıldığında zar büyüklüğünü geçmeyen küçük parçalara bölünerek yaralanma riskini azaltma özelliğine sahiptir. Darbelere karşı normal cama göre 4 veya 5 kat daha dayanıklı olan temperli camlar, özel fırınlarda önce 690-700 ºC'ye kadar ısıtılarak, sonrasında da hava ile aniden soğutularak elde edilmektedir. Tabakalı camlar ise iki veya daha fazla sayıda cam plakanın ısı ve basınç altında özel bağlayıcı polivinil butiral (PVB) yardımıyla birleştirilmesi sonucunda elde edilir. Bu camlar kırılma halinde cam parçaların saçılmasını ve bir taraftan diğerine istenmeyen geçişlerin önlenmesinde etkilidir. Temperlenmiş camla laminasyon yapılabilir ve bu malzemeye tabakalı temperlenmiş cam olarak adlandırılır. Tabakalı ve temperlenmiş camların özelliklerinin birleştirildiği bu cam kombinasyonunda kırılma güvenliği artırılmış olur. Günümüzde yapıların çoğunda farklı yerlerde farklı şeffaflık derecelerinde güvenlik camları kullanılmaktadır [94].

3.3.4. Tabakalı camlar

Tabakalı camlar hava tabakalı, termokromik ve elektrokromik tabakalı ve fotovoltaik (PV) modül tabakalı olarak sınıflandırılmaktadır. Hava tabakalı camlar, iklim kontrol camları

olarak isimlendirilmektedir. Hava tabakalı cam, yüzeyden ısı kaybını önlemek amacıyla, aralarında kuru hava bulunan iki veya üç cam levhanın kenarlarının birleştirilmesi ve dış hava ile içeride kalan havanın irtibatın kesilmesi ile oluşturulan ünitedir. Yapılarda kullanım amacına göre, tam veya yarı şeffaf olarak kullanılabilmektedir [95].

Isıya göre değişen termokromik tabakalar, sıcaklıktaki bir değişim ile harekete geçirilen ve ışık iletimini otomatik olarak kontrol edilebilen bir özelliğe sahiptir. Isı enerjisi ile harekete geçerek saydamlığı değişen termokromik tabakalar, güneş ışınımından korunmak için geliştirilmiş sistemlerdir. Elektrik akımı verilerek saydamlığı değiştirilebilen elektrokromik tabakalar, bazı maddeleri kabul etme yeteneğini ve dökme iyonlarını kullanmaktadır. Böylece görünür ve görünmez ışınım alanı içindeki iletim özelliklerini etkilemektedir [96].

İki cam arasına veya sadece bir ön cam arkasına yerleştirilen silikon esaslı veya özel ince film kaplamalı fotovoltaik (PV) sistemlerle yapılarda güneş enerjisinden elektrik elde edilebilmektedir. PV pilleri, diğer enerji üretim yöntemleri ile ekonomik olarak henüz daha yarışabilir olmamasına rağmen çevre, destekleyen yönetmelikler ve kamusal sermayeden gelen parasal yardım adına artan sorunların çözümü için genel olarak yeterli bir zemin sağlamaktadır [97].

3.4. Cam Yapı Malzemelerinin Enerji Performansı Parametreleri

Pencerelerden beklenen en temel özellik binada yeterli aydınlık düzeyi sağlanırken aynı zamanda kamaşmanın oluşmasını engellemek ve dış mekanla yeterli derecede görsel ilişkinin kurulmasını sağlamaktır. Pencere bileşenlerinden cam malzeme günümüzde çevre kontrolü açısından diğer cephe malzemeleriyle rekabet edebilecek duruma gelmiştir. Türkiye, hem yaz hem de kış koşullarını yaşayan bir iklim kuşağında olduğu için, aynı zamanda ısıtma ve soğutma giderlerini azaltan cam çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır [85]. Bu tez çalışmasında enerji performansı yüksek cam malzeme seçiminde dikkate alınması gereken parametreler güneş kontrolü, ışık geçirgenliği ve renk ve ışık yansıması olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir.

3.4.1. Güneş kontrolü

Güneş kontrolü, yapı kabuğunda kullanılan cam yapı malzemesi için geçerli olan performans parametrelerinden biridir. Cam cephelerde gün ışığını ve iç konfor standardını istenilen düzeyde tutabilmek için, aşırı parlaklığın kontrol altına alınması ve iklimlendirme giderlerinden tasarruf sağlanması amacıyla güneş ışınımının istenilen performans doğrultusunda denetlenebilir olması gerekmektedir. Binalarda kullanılan jaluzi, stor ya da perdeler güneş ısısını kesmemekte sadece güneş ışığını azaltmaktadırlar. Güneş ışınım şiddetinin yüksek olduğu aylarda ve bölgelerde, güneş enerjisinin iç ortama iletimini mümkün olduğunca azaltarak, iç ortamda aşırı ısınma olmasından kaçınmak gerekmektedir. Camlardaki güneş kontrol etkinliği, güneş ışınlarının 30^o eğimle geldiği kabul edilerek bulunan *toplam güneş radyasyon ısısı geçirgenliği (solar faktör)* ile ölçülmektedir. Toplam güneş enerjisinin içeriyi etkileyen yüzdesini ifade eden bu değer ne kadar düşükse camın o oranda iyi bir güneş kontrol camı olduğu söylenebilir [98].

Gün ışığı geçirgenliği; cam yüzeyine 90^o dik açı ile geldiği kabul edilen toplam ışığın, cam veya kombinasyonları tarafından içe geçirilen yüzdesi olarak tanımlanmaktadır. Gün ışığı yansıtması; cam yüzeyine 90^o dik açı ile geldiği kabul edilen toplam ışığın cam veya cam kombinasyonları tarafından geriye yansıtılan bölümü olmaktadır. Cam yüzeyine ulaşan toplam enerjinin bir bölümü hemen dışarı yansıtılırken, bir bölümü doğrudan içeriye girmekte ve bir bölümü de cam tarafından soğurulmaktadır. Güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri; cam yüzeyine etkiyen toplam güneş enerjisinin içeriye ısı olarak giren yüzdesini ifade etmektedir [99]. Güneş enerjisi aktarımı azaldıkça, ışık geçirimi de azalmaktadır [100]. Isı geçirgenlik katsayısı (U değeri) gece de söz konusu olmaktadır. Ancak güneş enerjisi ışınımı yoluyla enerji aktarımı sadece gündüz için söz konusudur [85].

3.4.2. Işık geçirgenliği

Herhangi bir ortamda insanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için belli bir ışık düzeyine ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş ışınlarından sağlanacak ışık düzeyi, cam elemanlarla içeriye kazandırılmaktadır. İç mekanlarda sağlanan doğal aydınlatma kalitesi üzerinde camın ışık geçirgenliğinin önemli etkisi bulunmaktadır [85]. Hacimlerde görsel konforun sağlanabilmesi aydınlık düzeyi, parıltı ve renk etkenlerinin belirli değerler içinde kalması

ile olanaklıdır. Birim alana düşen ışık akışı olarak tanımlanan aydınlık düzeyi, gözün görme yeteneğini doğrudan etkileyen bir faktördür. Gözün kontrast duyarlılığı, görüş keskinliği ve görme yeteneği arttıkça, iş verimi ve konfor altında bulunma duygusu artmakta ve yorgunluk azalmaktadır. Işık geçirgenliği; cama dik bakıldığında 380-780 nanometre dalga boyları arasındaki görünür güneş ışığının camdan geçiş yüzdesi olarak ifade edilmektedir [101].

İklim, camın sahip olması istenen ışık geçirgenlik değerinde önemli bir etkendir. Yatık güneş açıları ve bulutlu gökyüzünün hakim olduğu kuzey bölgelerindeki camların mümkün olduğunca çok ışık geçirmesi beklenirken, güney bölgelerinde aşırı parlaklıktan sakınmak için camın ışık geçirgenliğinin daha düşük olması istenmektedir. Bu aşamada, camın ışık geçirgenliği ile enerji geçirgenliği birbiriyle karıştırılmamalıdır. Enerji geçirgenliği, güneşin tüm ışınlarının geçiş oranını ifade ederken; ışık geçirgenliği, güneşin görünür ışınlarının geçişini ifade etmektedir [102]. Gün ışığının sadece % 44'lük bir kısmı görünür ışık olmaktadır. Bunun % 53'ünü kızılötesi ışınlar, % 3'ü de ultraviyole ışınlardır. Düz bir pencere camından % 90 oranında doğrudan radyasyon geçmektedir [85, 103].

3.4.3. Renk ve ışık yansıması

İç mekanlarda aydınlık seviyesi ve parıltının dışında görsel konforun niteliğini etkileyen etmenlerden biri de renktir. Estetik görünüm açısından seçilecek olan rengin renk psikolojisi kavramı dikkate alınarak mimar, ressam ve psikolog işbirliği ile kararlaştırılması gerekmektedir [104]. Camlarda renk, cam harmanına katılan renklendiriciler veya kaplamalarla elde edilmektedir. Renklendirme işleminde, alt camla sınırlı olan uygulamalara karşılık renk seçenekleri hem kaplama hem de alt camla elde edilebilmektedir [105].

Renk ve ışık yansıması birbirini tamamlayan iki özelliktir. Bir cam yüzeyin yansıtma özelliği, cam yüzeyin durumuna, yüzeye düşen ışığın dalga boyu ve yönüne bağlıdır. Camlarda; yüzeye düşen ışık enerjisinin bir bölümü ile yansıyan ışınların toplam enerjileri arasında, camın bünyesinde tutulan ve optik absorbsiyon adı verilen bir enerji farkı mevcuttur. Herhangi bir cam yüzeye gelen ışının bir bölümü, gelen ışınla yüzey normali arasındaki açıya eşit açı yapacak şekilde yansımaktadır [106]. Işık yansıması % 5'den

küçük olan camlar mat, % 55'den yüksek olanlar ise yüksek yansımalı olarak kabul edilir [100]. Dış çevrenin yapı üzerine yansıması, bina cephesi üzerinde değişik yansımalar oluşturmakta ve cam rengi de yansıtıcılık oranında ortam koşullarından etkilenmektedir. Özellikle reflektif kaplamalı camların (güneş kontrol camı) kullanıldığı cephe kaplamaları çevre ile değişken bir etkileşim sağlamaktadırlar. Ancak yine özellikle reflektif kaplamalı camlarda görülen distorsiyon ya da dalgalı görüntü sorunu çevredeki yapılar, bulutlar ve diğer unsurların cephe üzerinde yansımalarıyla dikkat çekici boyutlara ulaşmaktadır [85].

4. TÜRKİYE'DE FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ KONUTLARDA KULLANILAN CAMLARIN ENERJİ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez çalışması, Türkiye'nin farklı derece gün bölgelerinde yer aldığı varsayılan tip bir konut projesinde kullanılan cam seçeneklerinin, sözkonusu bölgelerin iklimsel özellikleri ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre değerlendirilmesini ve öneriler sunulmasını kapsamaktadır. Sunulan öneriler, derece gün bölgelerinin iklimsel özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Değerlendirmede Toplu Konut İdaresi (TOKİ)'nin tip projelerinden K-6 tipi konut binası seçilmiştir. Bu binanın TS 825'de belirtilen üç farklı derece gün bölgesinde yer alan üç farklı ilde aynı topoğrafik özelliklerde konumlandırıldığı varsayılmıştır. Sözkonusu varsayım doğrultusunda eQUEST 3.65 (the Quick Energy Simulation Tool 3.65) simülasyon programında gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Herbir derece gün bölgesinde yer alan tip konut binasında mekan ısıtması için doğalgaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketimi hesaplanmıştır. Değerlendirme için I. derece gün bölgesinde yer alan İzmir, II. derece gün bölgesinde yer alan İstanbul ve III. derece gün bölgesinde yer alan Ankara illeri seçilmiştir. Değerlendirmede kullanılan EUQEST programı IV. derece gün bölgesinin verilerini içermediği için bu bölgeden bir il seçilememiş ve değerlendirmenin kapsamı dışında bırakılmıştır. Yapılan değerlendirmenin sonuçları, Türkiye'nin farklı derece gün bölgeleri için uygun cam malzeme alternatifleri kapsamında irdelenmiştir.

4.1. Türkiye'de TS-825 Kapsamında Derece Gün Bölgelerinin İklimsel Özellikleri

İklim bölgeleri, farklı bilimsel çalışmalarda farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Dünyada en çok kabul edilen sınıflandırma Köppen'in yağış ve sıcaklığın bitki örtüleri ile olan ilişkilerine dayanarak yaptığı sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma, 5 ana iklim kuşağını ve 24 iklim tipini kapsamaktadır [107]. Türkiye' de bir iklim sınıflandırması yapabilmek için farklı araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda, 35 farklı merkezden alınan iklimsel verilerin değerlendirilmesi ile Prof. Ümran Emin Çölaşan tarafından Türkiye 7 farklı iklim bölgesine ayrılmıştır [108]. Daha sonraki çalışmalarda L. Zeren tarafından yapılan sınıflandırmada ise Türkiye'nin 5 ana iklim bölgesinden oluştuğu kabul edilmiştir [109]. Bu iklim bölgeleri sıcak-nemli iklim bölgesi, sıcak-kuru iklim bölgesi, ılımlı–kuru iklim

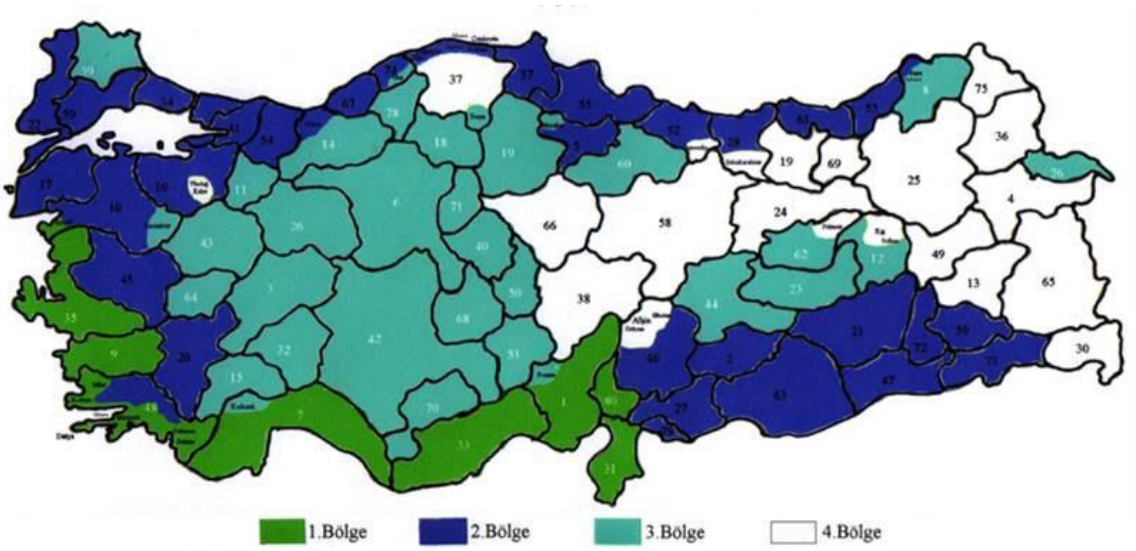
bölgesi, ılımlı-nemli iklim bölgesi ve soğuk iklim bölgesidir. Bu sınıflandırmaya göre İzmir sıcak-nemli iklim bölgesinde, İstanbul ılımlı-nemli iklim bölgesinde ve Ankara ılımlı-kuru iklim bölgesinde yer almaktadır. Bu tez çalışmasında, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı kapsamındaki derece gün bölgeleri esaslı sınıflandırma kullanılmıştır.

Bölüm 2'de ifade edildiği gibi TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardının amacı, Türkiye'deki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamak dolayısıyla enerji tasarrufunu arttırmak ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap yöntemini ve değerlerini belirlemektir. Standard ayrıca yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli tasarım seçeneklerine bu standartta açıklanan hesap yöntemini ve değerlerini uygulayarak ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini belirlenmesini, mevcut binaların ısıtma enerjisi tüketimlerini tespit edilmesini, mevcut bir binaya yenileme projesi uygulamadan önce uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarını saptanmasını ve bina sektörünü temsil edebilecek muhtelif binaların enerji ihtiyacını hesaplayarak bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacını milli seviyede tahmin edilmesini hedeflemektedir [10].

TS 825 standardı, içinde insanların ikamet ettiği veya çalıştığı, iç sıcaklığı asgari 15 ºC olacak şekilde ısıtılan her türlü yapıya uygulanmaktadır. Genel olarak uygulama alanları konut olarak kullanılacak binalar, büro ve idari binalar, tiyatrolar, kongre ve konser salonları, kültür merkezleri, eğitim yapıları, kütüphaneler, spor tesisleri, öğrenci yurtları, hastaneler, huzur evleri, bakım evleri, doğum evleri ve kreşler, ceza evleri ve kışla binaları, konaklama tesisleri, alışveriş merkezleri, iş hanları, banka ve borsa binaları, genel kullanım amaçlı dolayısıyla iç sıcaklıkları asgari 15 ºC olacak şekilde ısıtılan iş yerleri veya belirtilen amaçların bir kaçına yönelik olarak veya bunlara benzer amaçlar için kullanılan binalar olarak sayılabilir [110].

TS 825 standardına göre yapı elemanlarının tasarımı, birim yapı alanı veya brüt hacme göre yıllık net ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yoğuşma tahkiki kapsamında yapılmaktadır. Bina kabuğunu oluşturan duvar, döşeme, çatı, pencere sistemleri gibi yapı elemanları; bir bütün olarak yapının izin verilen enerji ihtiyacı limitleri içerisinde kalacağı şekilde tasarlanmalıdır.

TS 825 kapsamında Türkiye'de iller, ısıtma derece gün (Heating Degree Day - HDD) sayılarına göre dört farklı iklim bölgesine ayrılmıştır. I., II., III. ve IV. derece gün bölgeleri olarak adlandırılan bölgelerde yer alan iller Şekil 4.1'de verilmektedir.



Haritada yer alan illerin plakaları						
01 Adana	13 Bitlis	25 Erzurum	37 Kastamonu	49 Muş	61 Trabzon	73 Şırnak
02 Adıyaman	14 Bolu	26 Eskişehir	38 Kayseri	50 Nevşehir	62 Tunceli	74 Bartın
03 Afyon	15 Burdur	27 Gaziantep	39 Kırklareli	51 Niğde	63 Şanlıurfa	75 Ardahan
04 Ağrı	16 Bursa	28 Giresun	40 Kırşehir	52 Ordu	64 Uşak	76 Iğdır
05 Amasya	17 Çanakkale	29 Gümüşhane	41 Kocaeli	53 Rize	65 Van	77 Yalova
06 Ankara	18 Çankırı	30 Hakkari	42 Konya	54 Sakarya	66 Yozgat	78 Karabük
07 Antalya	19 Çorum	31 Hatay	43 Kütahya	55 Samsun	67 Zonguldak	79 Kilis
08 Artvin	20 Denizli	32 Isparta	44 Malatya	56 Siirt	68 Aksaray	80 Osmaniye
09 Aydın	21 Diyarbakır	33 İçel	45 Manisa	57 Sinop	69 Bayburt	81 Düzce
10 Balıkesir	22 Edirne	34 İstanbul	46 K.Maraş	58 Sivas	70 Karaman	
11 Bilecik	23 Elazığ	35 İzmir	47 Mardin	59 Tekirdağ	71 Kırıkkale	
12 Bingöl	24 Erzincan	36 Kars	48 Muğla	60 Tokat	72 Batman	

Şekil 4.1.Türkiye'de derece gün bölgelerine göre illerin haritası [110]

4.1.1. I. derece gün bölgesinin iklimsel özellikleri

TS 825 standardı kapsamında I. derece gün bölgesinde İzmir, Aydın, Muğla, Antalya, Adana, Mersin ve Hatay illeri yer almaktadır. Bu bölge, Ege Bölgesi'nin büyük bir bölümü ile İç Anadolu'nun batı kesiminde ve Akdeniz Bölgesi'nde Toros Dağlarının güneye bakan kesimlerinde sıcak-nemli iklim bölgesinin özelliklerini taşımaktadır. Kışlar ılık ve yağışlı,

yazlar sıcak ve kuraktır. Yıl boyu soğutma yapılan süre ısıtma yapılan süreden fazladır. Yıllık ortalama hava sıcaklığı 18,4˚C'dir [111]. Tez çalışmasındaki değerlendirmede İzmir ili iklim verileri kullanılmıştır.

4.1.2. II. derece gün bölgesinin iklimsel özellikleri

TS 825 standardı kapsamında II. derece gün bölgesinde Edirne, Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Bursa, Çanakkale, Balıkesir, Manisa, Denizli, Zonguldak, Sinop, Samsun, Amasya, Ordu, Giresun, Trabzon, Rize, Kahramanmaraş, Gaziantep, Kilis, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman ve Siirt yer almaktadır. Bu bölge, Türkiye'nin Marmara bölgesi, Egenin iç kesimleri, kuzey sahil şeridi ve güney doğusunu kapsamaktadır. Bölge genel olarak sıcak kuru ve ılımlı nemli iklim özelliklerini taşımaktadır. Türkiye'nin kuzey sahilindeki yerleşimler denizin etkisiyle nemli, güneydoğusu ise kuru iklim özellikleri göstermektedir. Yıllık ortalama hava sıcaklığı 15˚C'dir [111]. Tez çalışmasındaki değerlendirmede bölgenin özelliklerini gösteren İstanbul ili iklim verileri kullanılmıştır.

4.1.3. III. derece gün bölgesinin iklimsel özellikleri

TS 825 standardı kapsamında III. derece gün bölgesinde Bartın, Karabük, Bolu, Bilecik, Kütahya, Uşak, Ankara, Eskişehir, Afyon, Isparta, Burdur, Konya, Karaman, Niğde, Aksaray, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Çankırı, Çorum, Tokat, Malatya, Elazığ, Bingöl ve Tunceli illeri yer almaktadır. Bu bölge, Türkiye'nin özellikle iç kesimlerini kapsamaktadır. Isıtma süresi soğutmadan daha uzundur. Kışlar IV. bölgeye göre daha ılık geçmekle beraber yazın ısı kazançları konfor koşullarının üzerine çıkmaktadır [111]. Tez çalışmasındaki değerlendirmede bölgenin tipik özelliklerini gösteren Ankara ili iklim verileri kullanılmıştır.

4.1.4. IV. derece gün bölgesinin iklimsel özellikleri

TS 825 standardı kapsamında IV. derece gün bölgesine dâhil olan iller Ağrı, Ardahan, Bayburt, Bitlis, Erzincan, Erzurum, Gümüşhane, Hakkâri, Kars, Kastamonu, Kayseri, Muş, Sivas, Van ve Yozgat'tır. Türkiye'nin özellikle doğu bölgesinde yer alan yerleşimlerde etkisini gösteren soğuk iklim bölgesinde kışlar oldukça soğuk yazlar ise serindir. Yıllık

ortalama hava sıcaklığı yaklaşık 6˚C'dir [111]. Değerlendirmede kullanılan EUQEST programı IV. derece gün bölgesinin verilerini içermediği için bu bölgeden bir il seçilmemiş ve değerlendirme kapsamı dışında bırakılmıştır.

4.2. Farklı Derece Gün Bölgelerindeki TOKİ Konutlarında Kullanılan Isıcam ve Low-e Cam Seçeneklerinin Enerji Performanslarının Değerlendirilmesi

Bu bölüm, mevcutta var olduğu kabul edilen üç katlı bir konut binasında kullanılan farklı cam tiplerinin, TS 825'de belirtilen üç farklı derece gün bölgesinin iklimsel özelliklerine göre, mekan ısıtması için doğalgaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketiminin ve performansının değerlendirilmesini ve öneriler sunulmasını kapsamaktadır. Bu bağlamda öncelikle değerlendirilen konutun özellikleri ile ilgili bilgi verilmekte, bu konutun eQUEST enerji simülasyon programında modellenmesine ilişkin adımlar açıklanmakta, örnek konutta kullanılan cam seçenekleri eQUEST simülasyon programı ile analiz edilerek değerlendirilmekte ve değerlendirme bulguları yorumlanmaktadır.

Değerlendirme için I. derece gün bölgesinde yer alan İzmir, II. derece gün bölgesinde yer alan İstanbul ve III. derece gün bölgesinde yer alan Ankara illeri seçilmiştir. Ankara ili sıcak-kuru, İstanbul ili ılıman-nemli ve sıcak-kuru ve İzmir ili sıcak-nemli iklime sahiptir [108]. Değerlendirmede kullanılan eUQEST simülasyon programı IV. derece gün bölgesinin verilerini içermemektedir. Bu sebeple, bu bölge değerlendirme kapsamının dışında bırakılmıştır. Yapılan değerlendirmenin sonuçları, Türkiye'nin farklı derece gün bölgeleri için uygun cam tipi alternatifleri kapsamında karşılaştırılmalar yapılarak yorumlanmıştır.

4.2.1. Değerlendirmede kullanılan konutun özellikleri

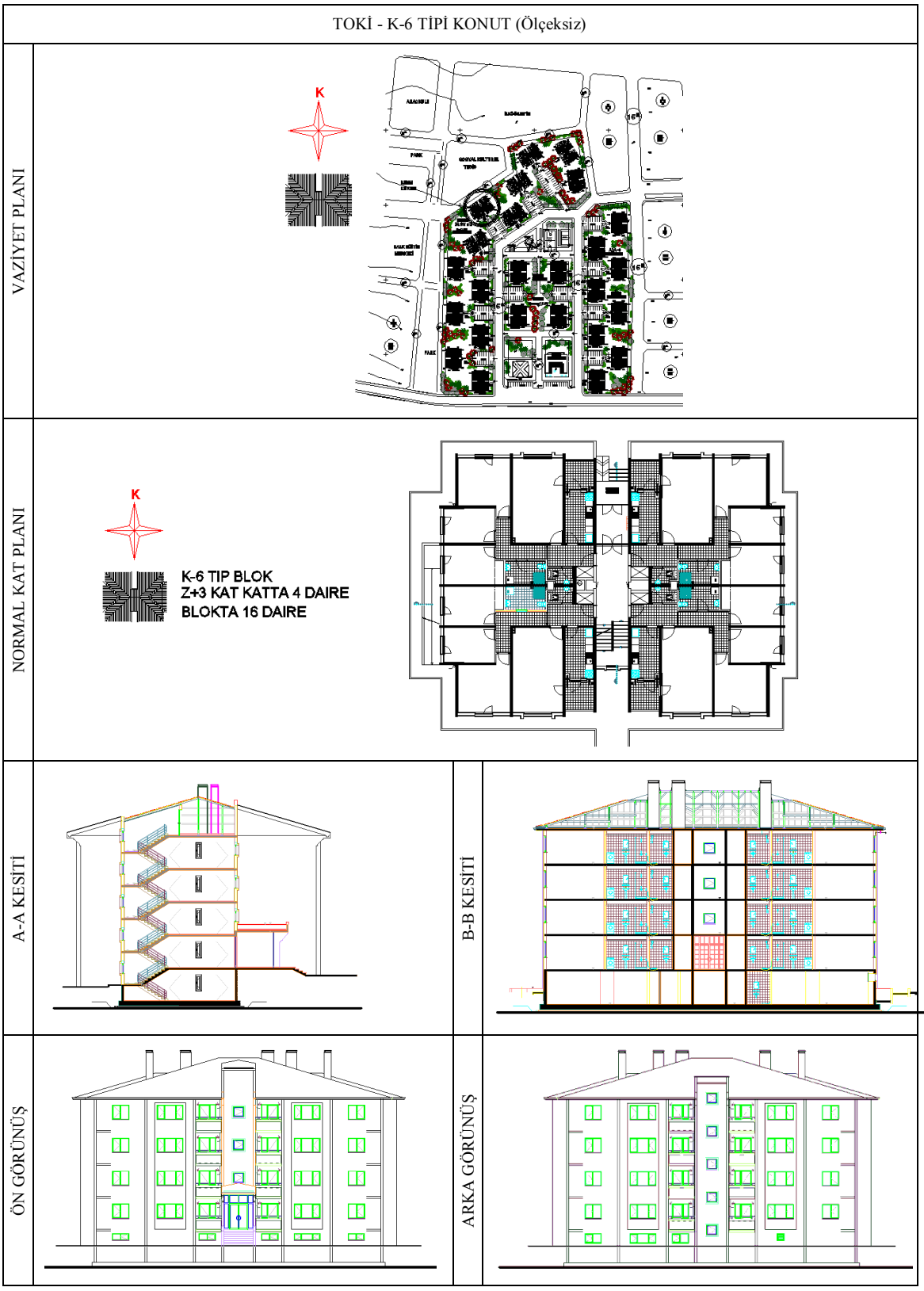
Değerlendirmeye konu olan plan tipi, TOKİ'nin Türkiye'nin tüm derece gün bölgelerinde inşa ettiği tip projelerden biri olan K-6 plan tipidir. K-6 plan tipinin seçilme nedeni dikdörtgen planlı olması sebebiyle yönlenmeye bağlı ısıl değişiklikleri minimuma indirmesi ve Türkiye'nin birçok yerleşim yerinde inşaa ediliyor olmasıdır.
Çizelge 4.2'de ifade edildiği gibi örnek konut binası 3 katlı olup (B+Z+3) bodrum kat hariç diğer katlarda 4 daire olmak üzere toplam 16 daireden oluşmaktadır. Her dairede 1 salon, 3

yatak odası, 1 tuvalet ve 1 banyo bulunmaktadır. Binanın taban alanı 467 m^2 ve blok kat alanı toplamı bodrum dahil 2335 m^2'dir. Örnek konut binasının Türkiye'nin farklı derece gün bölgelerinde yer alan 3 farklı ilde aynı topoğrafik özelliklerde konumlandırıldığı varsayılmıştır.

Çizelge 4.1. Değerlendirilen konutun dağılım ve alan tablosu [112]

Konut Dağılım ve Alan Tablosu										
Blok Tipi	Kat Sayısı	Katta Daire Sayısı	Blokta Daire Sayısı	Toplam Blok Sayısı	Blok Taban Alanı	Emsale Esas Blok İnşaat Alanı	Toplam Daire Sayısı	Blok Bodrum Kat Alanı		Blok Kat Alanı Toplamı (Bodrum Dahil)
								İskana Açık	İskana Kapalı	
K6	B+Z+3	4	16	25	467 m^2	1962 m^2	400	94	373	2335

Analizi yapılan TOKİ K-6 tipi konutlara ait vaziyet planı, zemin kat planı, kesitler ve görünüşler Şekil 4.2'de sunulmaktadır. Tez çalışmasında, bu konutlarda kullanılan farklı cam tipleri ele alınarak enerji tüketimleri eQUEST simülasyon programı ile analiz edilmiştir.



Şekil 4.2. TOKİ K-6 tipi konut projesi [112]

Çizelge 4.2'de, I. derece, II. derece ve III. derece gün bölgelerinde var olduğu kabul edilen tip konut binasında ısı kayıplarına sebep olan bina kabuğunu oluşturan bileşenlerin alanları verilmektedir.

Çizelge 4.2. TOKİ K-6 tipi konut binasının kabuğunu oluşturan bileşenlerin alanları

TOKİ K-6 Tipi Konut Binası	
Döşeme Alanları	A_{taban} = 533,84 m^2 (Toprak temaslı taban alanı)
Pencere Alanları	$A_{pencere\ (kuzey)}$ = 43,11 m^2
	$A_{pencere\ (güney)}$ = 41,79 m^2
	$A_{pencere\ (doğu)}$ = 32,76 m^2
	$A_{pencere\ (batığ)}$ = 29,20 m^2
Çatı Alanları	$A_{çatı}$ = 564,28 m^2

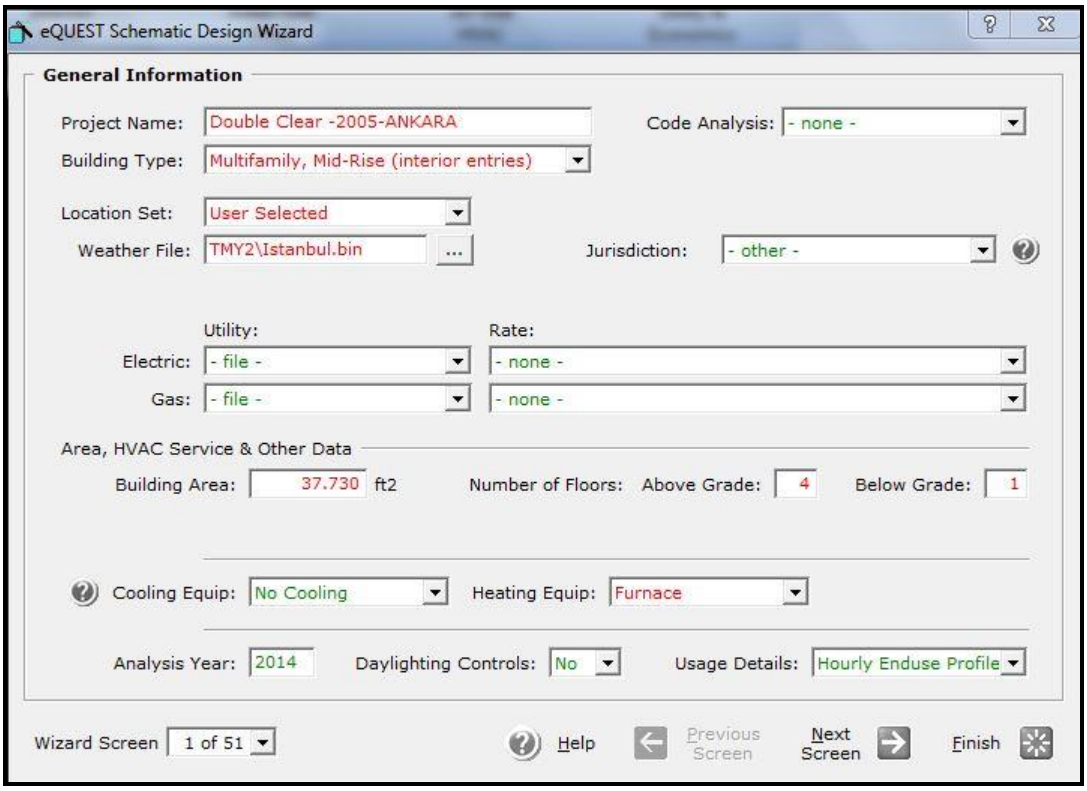
4.2.2. Örnek Konutun eQUEST simülasyon programında modellenmesi

Tez çalışmasındaki modelleme ve modellenen konutun enerji performansı ile ilgili değerlendirmeler, eQUEST 3.65 (the Quick Energy Simulation Tool 3.65) simülasyon programı ile yapılmıştır. eQUEST programı Amerikan Enerji Bakanlığı (Department of Energy - DOE) tarafından geliştirilmiş DOE-2 tabanlı bir yazılım aracıdır. Program yaygın olarak enerji performansı analizi, enerji tüketimi analizi, kavramsal tasarım performans analizi, LEED değerlendirmesi, enerji ve atmosfer kredi analizi, uyum analizi, yaşam döngüsü maliyetlendirme, DOE 2 ve PowerDOE alanlarında bina tasarımı sihirbazı ve enerji verimliliği ölçüsü sihirbazı olarak kullanılmaktadır [113]. Bu özellikleriyle eQUEST, mimari tasarım, HVAC donanımı, bina tipi ve ölçüsü, kat planları yerleşimi, yapı malzemeleri, kullanım alanı ve süresi ve aydınlatma sistemi gibi enerji kullanımını etkileyen özelliklerin modellenmesine olanak tanımaktadır [114]. Binaların ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma ile ilişkili enerji performansının incelenmesini ve karmaşık analizlerini sağlayan programda oluşturulan grafik ve çizelgelerle birim başına enerji tüketimi hesaplanabilmekte ve enerji verimliliği oranları karşılaştırılabilmektedir. Bu tezde yapılan karşılaştırmalarda birimler feet (ft) ölçü biriminden metreye (m) ve MBtu'dan kWh birimine çevrilmiştir.

eQUEST, ASHRAE 140 standardına [115] göre test edilmiş bir simülasyon programıdır. Tüm varsayımlar Kaliforniya Başlık 24 bina enerji koduna dayanmaktadır. Genel olarak girdi ve çıktı esaslıdır. Programın girdileri şematik tasarım, tasarım geliştirme ve detaylandırılmış (DOE-2) arayüz olup; çıktıları tekli sonuç özeti, parametrik tablosal raporlar, simülasyon sonuçları, girdi/çıktı özet raporları karşılaştırmalı sonuç özeti, saatlik simülasyon sonuçları, saatlik olmayan simülasyon sonuçları ve Kaliforniya Başlık 24 uygunluk analiz raporlarıdır [113]. eQUEST hesap yönteminde ısıtma dönemini kapsayan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile binanın ısıl performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca, program tasarımcıya projenin güneş enerjisinden faydalanma kapasitesini değerlendirme olanağı sağlamaktadır.

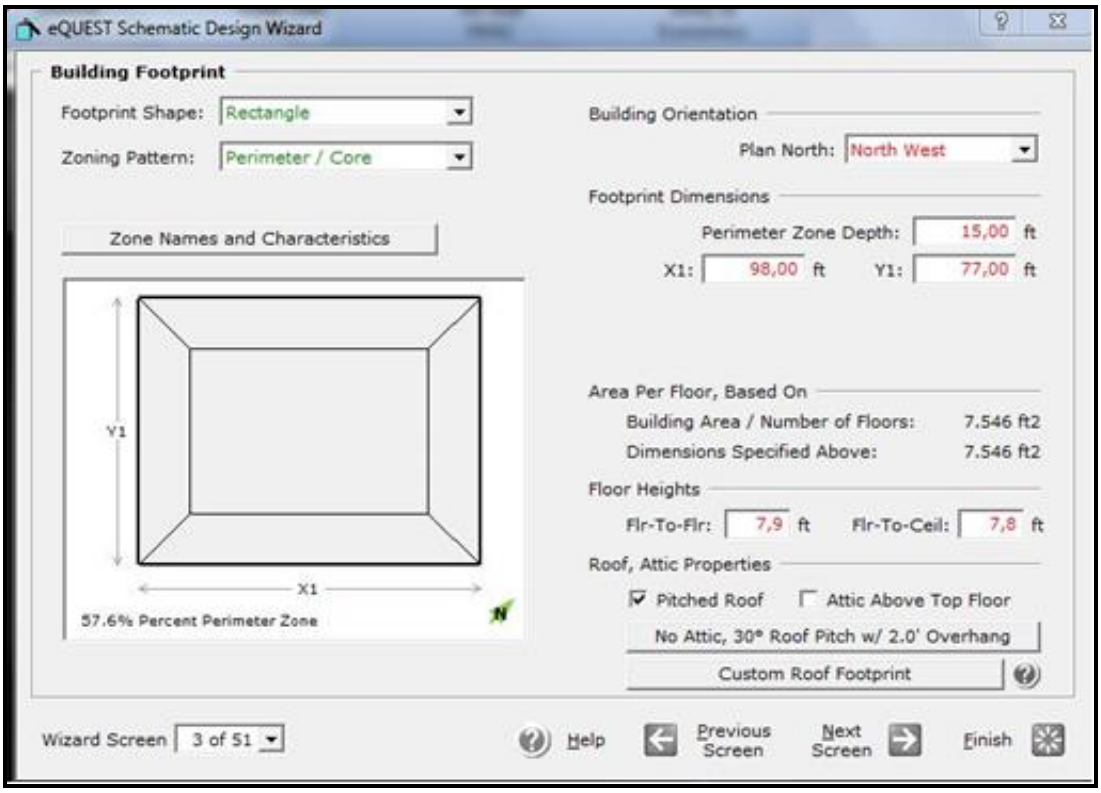
Tez çalışmasındaki modelleme için öncelikle eQUEST simülasyon programına enerji performansı değerlendirilecek olan konutun genel bilgileri girilerek başlanmıştır. Bu bilgiler, Şekil 4.3'te ifade edildiği gibi proje adı, bina türü, yerleşim yeri, ülke, bölge, şehir, seçilen şehrin iklim özellikleri, bina yüksekliği, kat sayısı, bina alanı ve ısıtma şekli gibi genel bilgileri içermektedir (Bkz. Bölüm 4.2.1). Yapılan değerlendirmede soğutma ihmal edilerek sıfır kabul edilmiş, yalnız ısıtma dikkate alınmıştır. Binanın ısıtma şekli olarak doğal gaz seçilmiştir.

Simülasyonu yapılan konut binasının bulunduğu derece gün bölgelerinin iklim verileri dışındaki veriler için eQUEST programının mevcut veri tabanından yararlanılmıştır. Konutun bulunduğu varsayılan İzmir, İstanbul ve Ankara illerinin iklim verileri ise programa dışarıdan yüklenmiştir.



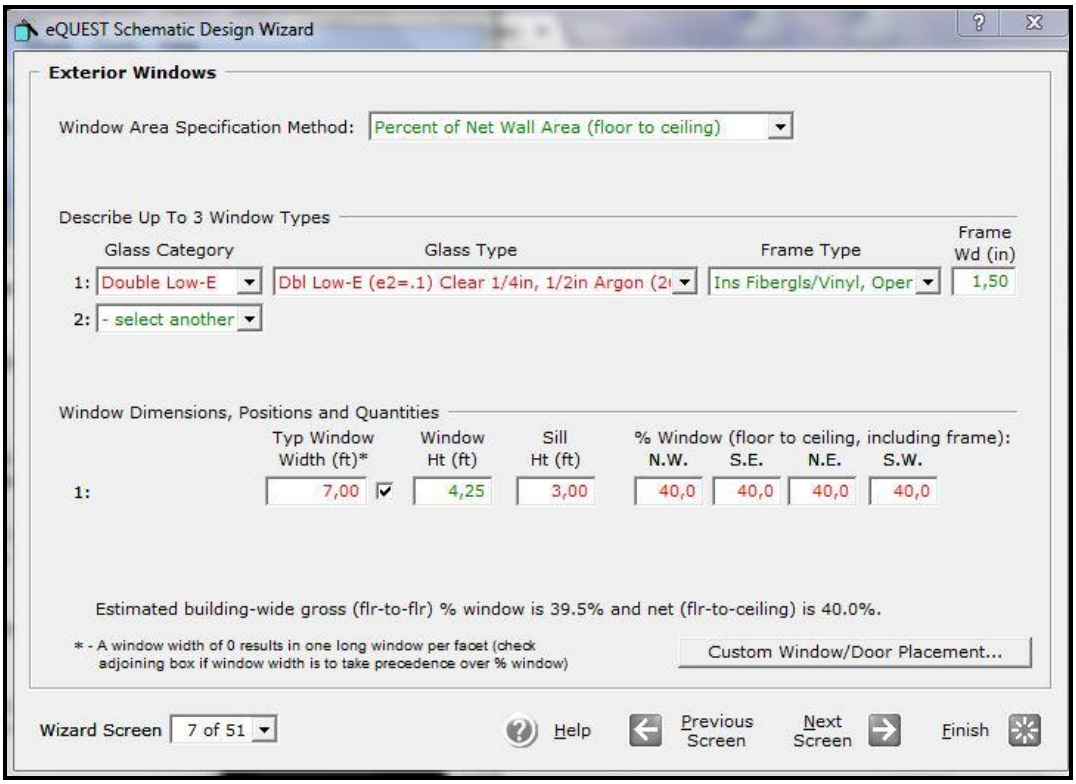
Şekil 4.3. eQUEST programı "genel bilgi" giriş ekranı

Projenin genel bilgileri girildikten sonra, Şekil 4.4'te ifade edildiği şekilde, binanın kapladığı alana (building footprint) ilişkin bilgiler programa tanıtılmıştır. Bu aşamada binanın şekli, yönü, ölçüleri, tavan yüksekliği, çatı özellikleri ve yapılan zonlamanın ismi ve özellikleri girilmiştir. Değerlendirilen konut kuzey batı doğrultusunda ve dikdörtgen plana sahiptir.



Şekil 4.4. eQUEST programı "binanın kapladığı alan" giriş ekranı

Binanın kapladığı alana ilişkin bilgiler girildikten sonra Şekil 4.5'te ifade edildiği gibi dış pencerelerle ilgili bilgiler programa tanıtılmıştır. Pencere alanını tanımlamak için "zeminden tavana kadar net duvar alanı yüzdesi" yöntemi seçilmiştir. Cam sınıfı, cam tipi, çerçeve tipi ve çerçeve kalınlığına ilişkin bilgiler belirlenmiştir. Pencere ölçüleri, konumu, miktarları ve pencere/duvar alanı oranı girilmiştir. Pencere/duvar alanı oranı tüm cephelerde sabit % 40 olarak kabul edilmiştir. Pencere genişliği 7 ft (213,36 cm), pencere yüksekliği 4,25 (121,92 cm) ve pencere eşiği yüksekliği 3 ft (91,44 cm) olarak girilmiştir.



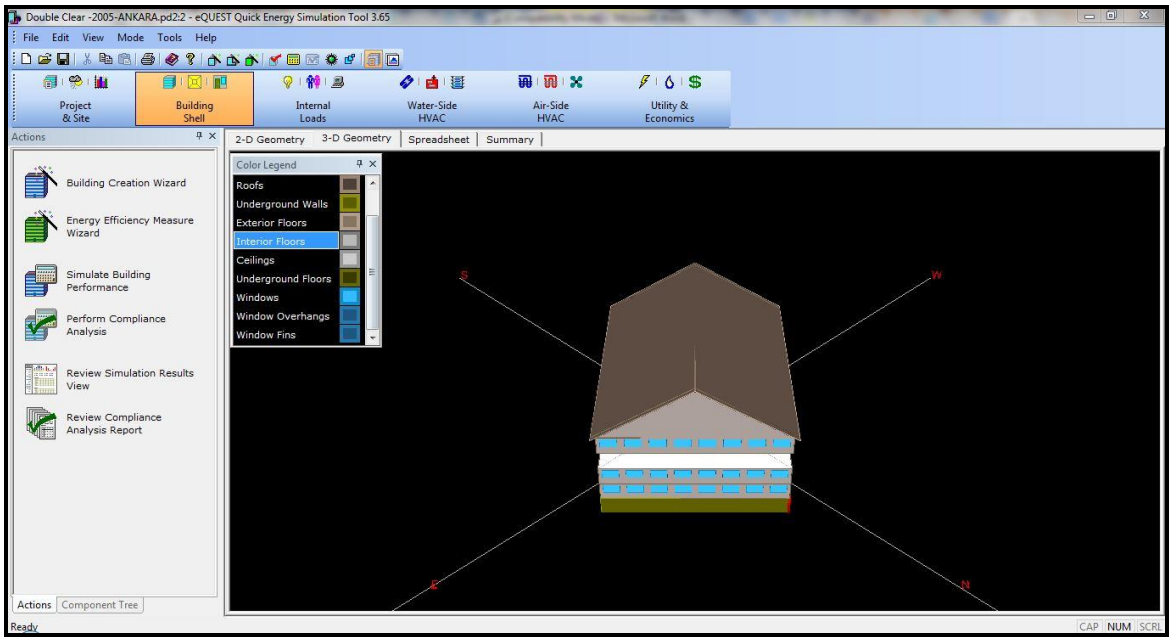
Şekil 4.5. eQUEST programı "dış pencereler" giriş ekranı

Cam sınıfı, cam tipi, çerçeve tipine ilişkin bilgiler Çizelge 4.4'te verilmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi değerlendirme için cam sınıfı olarak tek ısıcam, tek low-e cam, çift ısıcam ve çift low-e cam seçilmiştir. Cam tipi olarak kalınlığı 1,4 inch olan tek ısıcam, kalınlığı 1,4 inch olan tek low-e cam, herbirinin kalınlığı 1,4 inch olan (arasında 1,2 inch mesafeli boşluğa sahip argon gaz dolgulu) çift ısıcam ve herbirinin kalınlığı 1,4 inch olan çift low-e cam (arasında 1,2 inch mesafeli boşluğa sahip argon gaz dolgulu) girilmiştir. Çerçeve tipi ise sabit tutulmuş ve PVC (polivinil klorür) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Örnek konutun modellemesinde tercih edilen cam ve çerçeve seçenekleri

eQUEST Programı Dahilinde Kullanılan Cam ve Çerçeve Seçenekleri	
Cam Sınıfı (Glass Category)	Tek Isıcam (Single Clear)
	Tek Low-E Cam (Single Low-e)
	Çift Isıcam (Double Clear)
	Çift Low-E Cam (Double Low-e)
Cam Tipi (Glass Type)	Tek Isıcam, 1.4in (Single Clear, 1.4in)
	Tek Low-E Cam [E2=.2], 1.4 in (Single Low-e [E2=.2], 1.4 in)
	Çift Isıcam (Double Clear, 1.4in,1.2, [Argon])
	Çift Low-E Cam [E2=.1] ,1.4in,1.2in,[Argon] (Double Low-E [E2=.1] ,1.4in,1.2in,[Argon])
Çerçeve Tipi (Frame Type)	Ins Fibergls/Vinyl Operable
	Ins Fibergls/Vinyl Operable
	Ins Fibergls/Vinyl Oper,Mtl Spacer
	Ins Fibergls/Vinyl Oper,Mtl Spacer

Şekil 4.3. Şekil 4.4. ve Şekil 4.5'te örnek olarak verilen adımlar ve tezde gösterilemeyen diğer adımlar sonrasında modellenen bina Şekil 4.6'da sunulmaktadır.



Şekil 4.6. TOKİ K-6 tipi konut binasının eQUEST simülasyon programında modellenmesi

4.3. Değerlendirme bulgularının karşılaştırılması ve tartışma

Bölüm 4.2.1'de özellikleri açıklanan ve Bölüm 4.2.2'de eQUEST simülasyon programına girilen verileri tanımlanan TOKİ'nin K-6 tipi konut binası, TS 825'de belirtilen üç farklı

derece gün bölgesinde yer alan üç farklı şehirde aynı topoğrafik özelliklerde konumlandırıldığı varsayılmıştır. Bu varsayım doğrultusunda herbir derece gün bölgesinde yer alan tip konut binasında *mekan ısıtması için doğalgaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi* analiz edilmiştir. Değerlendirme için I. derece gün bölgesinde yer alan İzmir, II. derece gün bölgesinde yer alan İstanbul ve III. derece gün bölgesinde yer alan Ankara illeri seçilmiştir. Bu tez kapsamındaki değerlendirmede kullanılan eUQEST programı, IV. derece gün bölgesinin verilerini içermediği için bu bölgeden bir il seçilememiş ve değerlendirme kapsamı dışında bırakılmıştır. Yapılan analizde, programa girilen elektrik, aydınlatma ve havalandırmaya ilişkin veriler sabit tutulmuştur. İklim verileri değiştirilerek üç il için ayrı ayrı ısıtma (mekan ısıtma ve su ısıtma) yükü ve toplam enerji tüketimi değerleri elde edilmiştir. Mekan ve su ısıtması için doğal gaz kullanıldığı varsayılmıştır. Doğal gaz tüketimi birimi olarak kWh kullanılmıştır.

Bölüm 4.2.2'de yer alan Çizelge 4.4'te ifade edildiği gibi, yapılan analizde dört tip cam kullanılmıştır. Çizelge 4.5'te değerlendirme için seçilen cam tiplerine ilişkin veriler sunulmaktadır.

Çizelge 4.4. Değerlendirmede kullanılan cam tipleri

eQUEST Programı Dahilinde Kullanılan Cam Tipleri
1. Tek Isıcam, 1.4in (Single Clear, 1.4in)
2. Tek Low-E Cam [E2=.2], 1.4 in (Single Low-E [E2=.2], 1.4 in)
3. Çift Isıcam (Double Clear, 1.4in,1.2, [Argon])
4. Çift Low-E Cam [E2=.1] ,1.4in,1.2in,[Argon] (Double Low-E [E2=.1] ,1.4in,1.2in,[Argon])

Tez çalışmasında yapılan değerlendirmede, seçilen üç farklı derece gün bölgesi (I., II. ve III.) ve Çizelge 4.5'te sunulan cam tipleri kapsamında 12 farklı senaryo oluşturulmuştur. Tez çalışmasında, Çizelge 4.6'da değerlendirmede oluşturulan senaryolara ait sonuçlar özetlenmektedir.

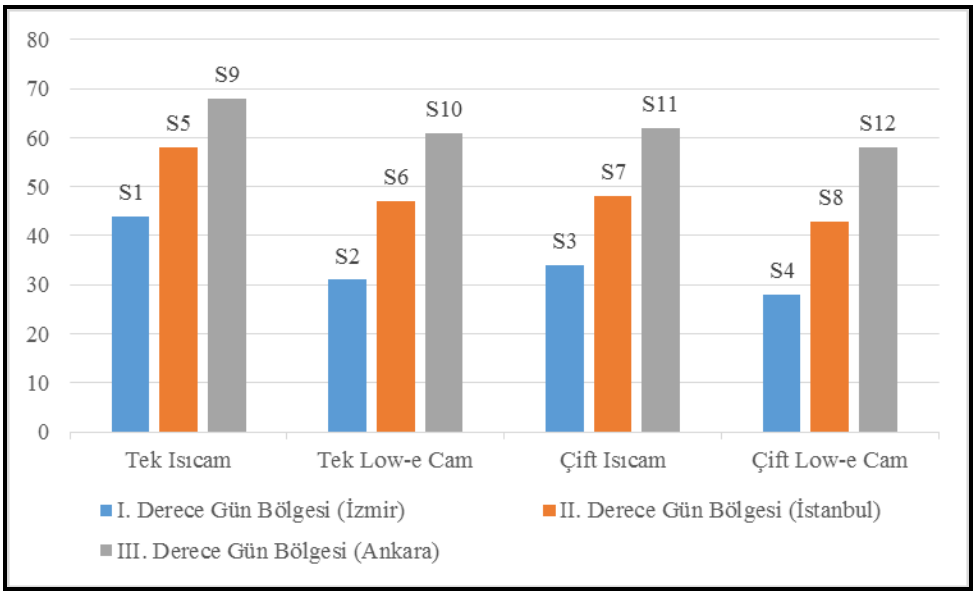
Çizelge 4.5. Simülasyonda değerlendirilen senaryoların bulguları

Senaryo	Şehir	Cam tipi	Yıllık Enerji Tüketimi		
			Isıtma (Mekan Isıtması)	Diğer (kWh)	Toplam (kWh)
S1	Izmir	Tek Isıcam, 1.4in	51.143839 kWh	176.563274	277.527113
S2	Izmir	Tek Low-E Cam (e2=.2) 1.4 in	30.165809 k kWh	176.520344	256,486153
S3	Izmir	Çift Isıcam 1.4in,1.2-Argon	33.067213 kWh	176,529136	259,396349
S4	Izmir	Çift Low-E Cam (e2=.1) 1.4 in,1.2 in,Argon	26.153666 kWh	176,537928	252,491594
S5	Istanbul	Tek Isıcam, 1.4in	98.477753 kWh	182.034931	330.312684
S6	Istanbul	Tek Low-E Cam (e2=.2) 1.4 in	62.740663 kWh	181.912	294.452663
S7	Istanbul	Çift Isıcam 1.4in,1.2-Argon	66.782113 kWh	181.927862	298.509975
S8	Istanbul	Çift Low-E Cam (e2=.1) 1.4 in,1.2 in,Argon	53.350664 kWh	103.150664	285,044387
S9	Ankara	Tek Isıcam, 1.4in	178.969733 kWh	193.795041	422.564774
S10	Ankara	Tek Low-E Cam (e2=.2) 1.4 in	129.742579 kWh	193.595041	373.13762
S11	Ankara	Çift Isıcam 1.4in,1.2-Argon	134.601698 kWh	193.627972	378.02967
S12	Ankara	Çift Low-E Cam (e2=.1) 1.4 in,1.2 in,Argon	113.998799 kWh	193.566764	312.365554

I. derece, II. derece ve III. derece gün bölgelerinde yer alan ve farklı cam tipleri kullanılan konutta mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan elektrik tüketiminin oranları Çizelge 4.8'de niceliksel olarak ve Şekil 4.7'de grafiksel olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 4.6. Mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan elektrik tüketiminin oranları

Cam Tipi	I. Derece Gün Bölgesi (İzmir)	II. Derece Gün Bölgesi (İstanbul)	III. Derece Gün Bölgesi (Ankara)
Tek Isıcam, 1.4in	% 44 (S1)	% 58 (S5)	% 68 (S9)
Tek Low-E Cam (e2=.2) 1.4 in	% 31 (S2)	% 47 (S6)	% 61 (S10)
Çift Isıcam 1.4in,1.2-Argon	% 34 (S3)	% 48 (S7)	% 62 (S11)
Çift Low-E Cam (e2=.1) 1.4 in,1.2 in,Argon	% 28 (S4)	% 43 (S8)	% 58 (S12)



Şekil 4.7. Mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan elektrik tüketiminin derece gün bölgelerine göre karşılaştırılması

4.3.1. I. derece gün bölgesi için değerlendirme (İzmir)

Çizelge 4.8 ve Şekil 4.7'ye göre İzmir'de tek ısıcam (S1) kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketimi % 44, tek low-e cam (S2) kullanılanda % 31, çift ısıcam (S3) kullanılanda % 34 ve çift low-e cam (S4) kullanılanda % 28 oranındadır. Bu oranlar, en yüksek enerji tüketiminin % 44 ile S1 senaryosunda ve en düşük enerji tüketiminin ise % 28 ile S4 senaryosunda olduğunu göstermektedir.

I. derece gün bölgesinde tek low-e cam (S2) kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketiminin tek ısıcam (S1) kullanılan binaya göre %13 azaldığı, çift ısıcam (S3) kullanılan binada tek ısıcam (S1) kullanılan binaya göre %10 azaldığı ve tek low-e cam (S2) kullanılan binada çift low-e cam (S4) kullanılan binaya göre % 3 azaldığı görülmektedir.

İzmir'de yapılan analiz için oluşturulan S1, S2, S3 ve S4 senaryolarının mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimine ilişkin değerlendirme sonuçları EK.1'de sunulmaktadır.

4.3.2. II. derece gün bölgesi için değerlendirme (İstanbul)

Çizelge 4.8 ve Şekil 4.7'ye göre İstanbul'da tek ısıcam (S5) kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketimi % 58, tek low-e cam (S6) kullanılanda % 47, çift ısıcam (S7) kullanılanda % 48 ve çift low-e cam (S8) kullanılanda % 43 oranındadır. Bu oranlar, en yüksek enerji tüketiminin % 58 ile S5 senaryosunda ve en düşük enerji tüketiminin ise % 43 ile S8 senaryosunda olduğunu göstermektedir.

II. derece gün bölgesinde tek low-e cam (S6) kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketiminin tek ısıcam (S5) kullanılan binaya göre % 11 azaldığı, çift ısıcam (S7) kullanılan binada tek ısıcam (S5) kullanılan binaya göre % 10 azaldığı ve tek low-e cam (S6) kullanılan binada çift low-e cam (S8) kullanılan binaya göre % 4 azaldığı görülmektedir.

İstanbul'da yapılan analiz için oluşturulan S5, S6, S7 ve S8 senaryolarının mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimine ilişkin değerlendirme sonuçları EK.1'de sunulmaktadır.

4.3.3. III. derece gün bölgesi için değerlendirme (Ankara)

Çizelge 4.8 ve Şekil 4.7'ye göre Ankara'da tek ısıcam (S9) kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketimi % 68, tek low-e cam (S10) kullanılanda % 61, çift ısıcam (S11) kullanılanda % 62 ve çift low-e cam (S12) kullanılanda % 58 oranındadır. Bu oranlar, en yüksek enerji tüketiminin % 68 ile S9 senaryosunda ve en düşük enerji tüketiminin ise % 58 ile S12 senaryosunda olduğunu göstermektedir.

III. derece gün bölgesinde tek low-e cam (S10) kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketiminin tek ısıcam (S9) kullanılan binaya göre % 7 azaldığı, çift ısıcam (S11) kullanılan binada tek ısıcam (S9) kullanılan binaya göre % 6 azaldığı ve tek low-e cam (S10) kullanılan binada çift low-e cam (S12) kullanılan binaya göre % 3 azaldığı görülmektedir.

Ankara'da yapılan analiz için oluşturulan S9, S10, S11 ve S12 senaryolarının mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimine ilişkin değerlendirme sonuçları EK.1'de sunulmaktadır.

4.3.4. Derece gün bölgelerine göre değerlendirme

Bölüm 4.3.1, Bölüm 4.3.2 ve Bölüm 4.3.3'te yapılan değerlendirmeler aşağıdaki şekilde yorumlanabilir (Bkz. Çizelge 4.8, Şekil 4.7):

- İncelenen tüm derece gün bölgelerinde en yüksek enerji tüketiminin tek ısıcam kullanılan senaryolarda ve en düşük enerji tüketiminin çift low-e cam kullanılan senaryolarda gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu sebeple, hiçbir derece gün bölgesinde ve binanın hiçbir cephesinde tek ısıcam kullanılmasının doğru olmadığı sonucuna varılmıştır.
- İncelenen tüm derece gün bölgelerinde tek low-e cam ile çift ısıcam seçenekleri arasında enerji tüketimi açısından en yüksek % 3 ve en düşük % 1 fark olduğu görülmüştür. Bu oranın çok yüksek olmadığı söylenebilir. Ancak UV ışınlarına karşı koruma sağlaması, iç mekandaki eşyaların renklerini koruması ve iç ortam ısısını dışarıya fazla iletmemesi gibi sebeplerle çift ısıcam yerine tek low-e camın tercih edilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- Isıtma amaçlı enerji tüketimleri açısından karşılaştırıldığında; tek ısıcam ve çift ısıcam arasında İzmir'de % 11, İstanbul'da % 10 ve Ankara'da % 6 oranında fark olduğu görülmüştür. Buradan, çift ısıcam kullanımının tek ısıcam kullanımına göre daha tasarruflu olacağı anlaşılmaktadır.
- Isıtma amaçlı enerji tüketimleri açısından karşılaştırıldığında; tek low-e cam ve çift low-e cam arasında İzmir'de % 3, İstanbul'da % 4 ve Ankara'da % 3 oranında fark olduğu görülmüştür. Tek low-e cam ile çift low-e cam arasında fazla fark olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni değerlendirmede kullanılan tek low-e camda (E2=.2) iki kat kaplama kullanılmış olması, ancak çift low-e camda (E2=.1) ise tek kat kaplama kullanılmış olmasıdır. Çift low-e cam seçeneğinde 1,2 inç ara boşlukta argon gazı kullanılmış olmasına rağmen sonuçların tek low-e kaplamayla yakın olduğu görülmektedir.

- Isıtma amaçlı enerji tüketimleri açısından karşılaştırıldığında; çift ısıcam ve çift low-e cam karşılaştırıldığında İzmir'de % 6, İstanbul'da % 5 ve Ankara'da % 4 oranında fark olduğu görülmüştür. Her iki cam tipinde de cam kalınlığı 1,4 inç ve ara boşluk 1,2 inç mesafeli argon gazı dolguludur. Çift low-e camda çift ısıcamdan farklı olarak bir kat low-e kaplama vardır. Değerlerdeki farklar bu kaplamadan kaynaklanmaktadır. Çift low-e cam tipinin kullanılması tercih edilmelidir.
- Isıtma amaçlı enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında; tek ısıcam ve tek low-e cam karşılaştırıldığında İzmir'de % 13, İstanbul'da % 11 ve Ankara'da % 7 oranında fark olduğu görülmüştür. Her iki cam tipinin de kalınlığı aynı olup low-e camın e_2 değeri 2'dir. Bu sebeple enerji tüketimi tüm derece gün bölgelerinde tek ısıcama göre daha az enerji tüketimine sebep olmaktadır.
- Isıtma amaçlı enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında; tek low-e cam ve çift ısıcam karşılaştırıldığında ise İzmir'de % 3, İstanbul'da % 1 ve Ankara'da % 1 oranında fark olduğu görülmüştür. Her iki cam tipinin de kalınlığı aynı olup low-e camda iki kat kaplama, çift ısıcamda ise argon gazı dolu ara boşluk vardır. Bu sebeplerle iki cam tipi arasında fazla fark görünmemektedir.
- Cam tipinin sadece ısıtma amaçlı enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelendiğinde seçilen low-e kaplamalı camın özelliklerine bağlı olarak çok fazla bir değişimin olmadığı görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Son yıllarda hızla artan enerji gereksinimi ve enerji kaynaklarının rezervlerinin sınırlı olması, ülkeleri enerji tüketimini azaltacak önlemlere ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yöneltmiştir. Yapı sektöründe enerji verimliliğine katkı sağlamak amacıyla mevcut binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve yeni binaların enerji etkin tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Binaların opak ve saydam yüzeyleri, enerji kayıp ve kazançları açısından önemli bir role sahiptir. Cam tipi, binalarda pencerelerden kaynaklanan güneş enerjisi kazanç ve ısı kayıp miktarlarını etkileyen parametrelerden biridir.

Enerji etkin tasarım bağlamında ısıtma amaçlı enerji tüketimine olan etkisi nedeni ile pencerelerden kazanılan güneş enerjisi ve kaybedilen ısı miktarının, ön tasarım aşamasında yerel iklimsel özelliklere göre analiz edilmesi önemlidir. Bu tez çalışmasında, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı kapsamında, Türkiye'nin üç farklı derece gün bölgesinde yer aldığı varsayılan TOKİ'nin tip bir konut projesi dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Farklı derece gün bölgelerinde kullanılan dört cam tipinden oluşturulan oniki senaryo, mekan ısıtması için doğalgaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketimi açısından enerji analiz programı eQUEST ile analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre cam tipinin enerji tüketimi üzerinde etkili olduğu görülmüş bu sebeple farklı derece gün bölgelerinde kullanılabilecek cam tiplerine yönelik öneriler sunulmuştur.

Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Tez çalışmasında TOKİ'nin Türkiye'nin bütün iklim bölgelerinde inşa ettiği K-6 plan tipi dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı kapsamında, Türkiye'nin I. derece, II. Derece ve III. derece gün bölgelerinde yer alan İzmir, İstanbul ve Ankara illerinde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre cam tipinin enerji tüketimi üzerinde etkili olduğu görülmüştür.
- İncelenen üç farklı gün bölgesinde de en yüksek enerji tüketiminin tek ısıcam kullanılan senaryolarda ve en düşük enerji tüketiminin ise çift low-e cam kullanılan

senaryolarda gerçekleştiği görülmüştür. Bu sebeple, hiçbir derece gün bölgesinde ve binanın hiçbir cephesinde tek ısıcam kullanılmasının uygun olmadığı söylenebilir.

- Isıtma amaçlı enerji tüketimleri açısından karşılaştırıldığında; tek ısıcam ve çift ısıcam arasında İzmir'de % 11, İstanbul'da % 10 ve Ankara'da % 6 oranında fark olduğu görülmüştür. Buradan, çift ısıcam kullanımının tek ısıcam kullanımına göre daha tasarruflu olduğu söylenebilir.
- I. derece gün bölgesinde tek low-e cam kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketiminin tek ısıcam kullanılan binaya göre %13 azaldığı, çift ısıcam kullanılan binada tek ısıcam kullanılan binaya göre %10 azaldığı ve tek low-e cam kullanılan binada çift low-e cam kullanılan binaya göre % 3 azaldığı görülmektedir.
- II. derece gün bölgesinde tek low-e cam kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketiminin tek ısıcam kullanılan binaya göre % 11 azaldığı, çift ısıcam kullanılan binada tek ısıcam kullanılan binaya göre % 10 azaldığı ve tek low-e cam kullanılan binada çift low-e cam kullanılan binaya göre % 4 azaldığı görülmektedir.
- III. derece gün bölgesinde tek low-e cam kullanılan binada mekan ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan enerji tüketiminin tek ısıcam kullanılan binaya göre % 7 azaldığı, çift ısıcam kullanılan binada tek ısıcam kullanılan binaya göre % 6 azaldığı ve tek low-e cam kullanılan binada çift low-e cam kullanılan binaya göre % 3 azaldığı görülmektedir.
- En sıcak yerleşimleri kapsayan I. derece gün bölgesinde, soğutma yükünün düşmesini sağlayan ve ısıtma yükünü arttırmayan cam tipleri tercih edilmelidir. Bu kapsamda doğu cephede tek low-e cam veya çift ısıcam, güney cephede çift low-e cam, batı cephede tek low-e cam veya çift ısıcam ve kuzey cephede tek low-e cam veya çift ısıcam kullanılması önerilmektedir.
- Isıtma süresi ve soğutma süreleri eşit olan II. derece gün bölgesinde, yazın istenmeyen ısı kazançlarını önlenmesini, kışın ısı kayıplarının azaltılmasını sağlayan cam tipleri tercih edilmelidir. Bu kapsamda doğu cephede tek low-e cam veya çift ısıcam, güney cephede tek low-e cam veya çift ısıcam, batı cephede çift low-e cam ve kuzey cephede çift low-e cam kullanılması önerilmektedir.
- Soğutma süresi ısıtma süresinden kısa olan III. derece gün bölgesinde, kışın ısı kayıplarının azaltılmasını sağlayan cam tipleri tercih edilmelidir. Bu kapsamda doğu

cephede tek low-e cam, güney cephede tek low-e cam veya çift ısıcam, batı cephede çift low-e cam ve kuzey cephede çift low-e cam kullanılması önerilmektedir.

- Özellikle Türkiye'deki mevcut binaların önemli bir bölümünün ısıl performansının yetersiz olduğu dikkate alındığında enerji etkin yenileme önem kazanmaktadır. Mevcut bir bina için yenilemenin enerji performansına etkisi, sıcak iklimlerde soğuk iklimlere göre daha azdır. Özellikle sıcak iklimlerde, mevcut bir binanın yenilemesi yerine yönlenme, bina formu ve saydamlık oranı gibi tasarım parametrelerinin doğru kurgulanması daha önemlidir. Türkiye'de farklı derece gün bölgelerindeki konut binalarında yapılacak yenilemelerde saydam bileşenlerin ısıl performansının yükseltilmesi ve uygun cam tipinin kullanılması binanın enerji etkinliği açısından önemlidir.

5.2. Öneriler

Bina enerji performansına etkisi olan parametrelerin enerji analiz programları aracılığı ile değerlendirilmesi, mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde veya mevcut binaların enerji etkin yenilenmelerinde enerji etkin çözüm önerilerinin oluşturulması için önemlidir. Ön tasarım evresinde göz önünde bulundurulması gereken tasarım parametreleri kapsamında doğru kararların alınması, tasarımcının kontrolünde olan parametreler için uygun değerlerin belirlenmesinde karar sürecini destekleyecek ve daha sonraki evrelerde de doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Tasarım parametrelerine ait uygun değerlere dayandırılan bir tasarım aşamasının sonucunda, minimum düzeyde enerji tüketimine sebep olan enerji etkin binalar üretilebilir. Enerji etkin bina üretiminin yaygınlaşmasıyla Türkiye'de enerji giderlerinin azaltılmasına önemli ölçüde katkı sağlanacaktır.

Tez çalışmasında analizi yapılan bina dikdörtgen planlı bir forma sahiptir. Farklı formlardaki binaların enerji tüketimleri de farklı olabilir. Bu sebeple, enerji etkin tasarım ve yenilemeler üzerine yapılan çalışmalarda farklı formların da farklı derece gün bölgelerine göre sonuçları değerlendirilebilir.

Tez çalışmasında yapılan değerlendirmede maliyet dikkate alınmamıştır. Yapılan önerilerin yaşam döngüsü maliyet hesabı yapılarak önerilerin ekonomikliği ölçülebilir ve performans-maliyet değerlendirmesi yapılabilir.

Türkiye'de enerji etkin yapı tasarımına ilişkin yasal bir zorunluluk bulunmamaktadır. Mevcut binaların enerji etkin yenilenmesi ve yeni binaların enerji etkin tasarlanması konuları bilimsel araştırmalar, eğitim programları, yasa ve yönetmeliklerle desteklenmelidir.

Sonuç olarak, yeni tasarlanan binaların enerji etkin tasarlanmasının ve Türkiye yapı stoğunun önemli bir bölümünü oluşturan mevcut konut binalarının enerji etkin yenilenmesinin; enerji tüketimi ve çevrenin korunması kapsamında önemli rolü olduğu söylenebilir. Derece gün bölgelerine göre doğru cam tiplerinin kullanılmasıyla büyük oranda enerji tasarruf sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Say, C. ve Wood, A. (2008). Sustainability Rating Systems around the World, CTBUH Review, No 2, 18-29.

2. Smith, P. F. (2005). Architecture in a Climate of Change: A Guidance to Sustainable Design, Oxford Architectural Press, Britain.

3. Gültekin, A. B. ve Yavaşbatmaz, S. (2013). Sustainable Design of Tall Buildings, *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers Gradevinar*, 65 (5): 449-461, Croatia.

4. Sayın, S. (2006). *Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

5. Gültekin, A. B. ve Alparslan, B. A. (2013). Ecological Building Design and Evaluation in Ankara, *Croatian Association of Civil Engineers Gradevinar*, 65 (11): 1003-1013, Croatia.

6. Gültekin, A. B. ve Alparslan, B. (2011). Ecological Building Design Criteria: A Case Study in Ankara, *Gazi University Journal of Science*, Vol.24, No.3: 605-616, Ankara.

7. Işık, M. (2007). *Türkiye' de Mevcut Yapıların Enerji Etkinliğini İyileştirmeye Yönelik Bir Çalışma*.Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

8. Yıldız, Y., Özbalta, T. G. ve Arsan, Z. D. (2011). Farklı Cam Türleri ve Yönlere Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, İzmir, *Megaron*, 6(1), 30-35.

9. Bojic, M. ve Yik, F. (2007). Application of advanced glazing to high-rise residential buildings in Hong Kong, *Building and Environment*, Sayı: 42, 820-828.

10. Türk Standardları Enstitüsü, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, *TS 825*, Ankara, (2013).

11. İnternet: eQUEST enerji simülasyon programı. URL: http://www.doe2.com/equest/, Son Erişim Tarihi: 10.06.2014.

12. Türkay, M. ve Yılmaz, Ş. (2012). *Türkiye'nin Enerji Verimliliği Haritası ve Hedefler.* Koç Üniversitesi, İstanbul. 21.

13. İnternet: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency – IEA) (2010). *Turkey 2009 Review.* Fransa, S: 27.
URL: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/turkey2009.pdf, Son Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2014.

14. Kadiroğlu, E. (2011). *Türkiye'de Enerji Etkin Yapı Üretimi için Tasarım Kriterleri*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

15. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2012). *Enerji Raporu 2012*. Ankara, 241-258.

16. Bozdoğan, B. (2003). *Mimari Tasarım ve Ekoloji*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

17. Kaypak, Ş. (2011). *Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Bir Kalkınma için Sürdürülebilir Bir Çevre*,. KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 13 (20): 19-33.

18. Türkeş, M. (2003). *Sera Gazı Salımlarının Azaltılması için Sürdürülebilir Teknolojik ve Davranışsal Seçenekler*. V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi: Çevre Bilim ve Teknoloji Küreselleşmenin Yansımaları, Ankara, 267–285.

19. Bulut, B. (2014). *Yeşil Bina Sertifika Sistemleri: Türkiye için Bir Sistem Önerisi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

20. Soysal, S. (2007). Konut Binalarında Tasarım Parametreleri ile Enerji Tüketimi İlişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

21. Gür, V. (2007*). Mimaride Sürdürülebilirlik Kapsamında Değişken Yapı Kabukları İçin Bir Tasarım Destek Sistemi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-5.

22. World Energy Council - WEC. (2009). *European Climate Change Policy Beyond 2012***,** London, 17-28.

23. İnternet: Kyoto Protokolü.
URL: http://tr.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protokol%C3%BC, Son Erişim Tarihi: 20.05.2014.

24. Süt, G. (2013). *Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Mevcut Çok Katlı Konut Binalarının Dış Kabuğunda Yapılacak Enerji Etkin Yenileme Stratejileri*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

25. İnternet: Charles, P., et al. (2009) Improving the Energy Performance of Buildings. Enviroment, Energy and Economic Development. URL: https://www.boma.org/industry-issues/state-local-issues/Documents/RAND_TR728.sum.pdf, Son Erişim Tarihi: 05 Haziran 2014.

26. TMMOB Makina Mühendisleri Odası (2008). *Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği Oda Raporu*. Ankara: 16-17.

27. Janssen, H. (2005). *Towards Energy Efficient Buildings in Europe*. The European Alliance of Companies for Energy Efficience in Buildings Final Report, London, 28-30.

28. İnternet: David, H. (2007). The 50 Years History Behind the EPBD: From the Europen Coal and Steel Community to the EPBD.
URL: http://www.buildup.eu/sites/default/files/P033_EN_EPBD_History_p2747.pdf, Son Erişim Tarihi: 05 Haziran 2014

29. Çelik, E. (2009). *Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinin İncelenmesi Türkiye'de Uygulanabilirliklerinin Değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

30. Internet: ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi.
URL: http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso14000.htm, Son Erişim Tarihi: 01.06.2014).

31. International Organization of Standardization (ISO), "Environmental management systems - specification with guidance for use: EN-ISO 14001", Geneva, 1 - 15 (1997).

32. ISO, "Environmental management - environmental management systems - general guidelines on principles, systems and supporting techniques", *EN-ISO 14004*, Geneva, 1 - 25 (1996).

33. ISO, "Environmental management - guidelines for environmental auditing - general principles", *EN-ISO 14010*, Geneva, 1 - 5 (1996).

34. ISO, "Environmental management - guidelines for environmental auditing - audit procedures - auditing of environmental management systems", *ISO 14011*, Geneva, 1 - 7 (1996).

35. ISO, "Environmental management - guidelines for environmental auditing - qualification criteria for environmental auditors", *ISO 14012*, Geneva, 1 - 5 (1996).

36. ISO, "Environmental labels and declarations - general principles", *ISO 14020*, Geneva, 1 - 3 (2000).

37. ISO, "Environmental labels and declarations - self-declared environmental claims (Type II environmental labeling)", *ISO 14021*, Geneva, 1 - 28 (1999).

38. ISO, "Environmental labels and declarations - type İ environmental labeling - principles and procedures", *ISO 14024*, Geneva, 1 – 18 (1999).

39. ISO, "Environmental labels and declarations - type İİİ environmental declarations", *ISO/TR 14025*, Geneva, 1 – 32 (2000).

40. ISO, “Environmental management - environmental performance evaluation – guidelines”, *ISO 14031*, Geneva, 1 – 40 (1999).

41. ISO, “Environmental management - examples of environmental performance evaluation (EPE)”, *ISO/TR 14032*, Geneva, 1 – 100 (1999).

42. ISO, “Environmental management - life cycle assessment - principles and framework”, *ISO 14040*, Geneva, 1 - 20 (2006).

43. ISO, “Environmental management - life cycle assessment - goal and scope definition and inventory analysis”, *ISO 14041:1998(E)*, Geneva, 1 - 16 (1998).

44. ISO, “Environmental management - life cycle assessment - life cycle impact assessment”, *ISO 14042: 2000(E)*, Geneva 1 – 16 (2000).

45. ISO, “Environmental management - life cycle assessment - life cycle interpretation”, *ISO 14043: 2000(E)*, Geneva, 1 – 18 (2000).

46. ISO, “Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines”, *ISO 14044*, Geneva, 1 - 46 (2006).

47. ISO, “Environmental management - life cycle impact assessment - examples of application of ISO 14042”, *ISO/TR 14047: 2003(E)*, Geneva, 1 – 87 (2003).

48. ISO, “Environmental management - life cycle assessment - data documentation format”, *ISO/TS 14048: 2002*, Geneva, 1 – 87 (2002).

49. ISO, “Environmental management - life cycle assessment - examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis”, *ISO/TR 14049: 2003(E)*, Geneva, 1 – 43 (2003).

50. ISO, “Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products”, *ISO 21930: 2007*, Geneva, 1-26 (2007).

51. İnternet: ASHRAE hakkında genel bilgi. URL: https://www.ashrae.org/about-ashrae, Son Erişim Tarihi: 01.06.2014).

52. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE 90.1-2007, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.

53. E.P. Council. (2002). *Directive 2002/91/EC of The European Parliament and of The Council of 16 December 2002 on The Energy Performance of Buildings*. Official Journal of The European Communities: 1-7.

54. İnternet: Avrupa Birliği Bina Enerji Performans Direktifi.
URL: http://www.buildup.eu/publications/9631, Son Erişim Tarihi: 10.05.2013.

55. İnternet: AB üye ülkeler enerji sertifikası hazırlama prosedürleri.
URL: www.eur-lex.europa.eu./LexUriserv/Lexuri, Son Erişim Tarihi: 15.02.2013.

56. Ayçam, İ. (2006). *Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Isıtma Gerektiren Dönem İçin Alçak Katlı Konut Binalarında Uygun Cam Tiplerinin Saptanmasına Yönelik Bir Yöntem*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

57. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu.
URL: www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist, Son Erişim Tarihi: 02.02.2014.

58. Satman, A. (2007). *Türkiye'nin Enerji Vizyonu*, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir: 3-18.

59. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2007). *5627 No'lu Enerji Verimliliği Kanunu*. Resmi Gazete Tarihi: 02.05.2007, Resmi Gazete Sayısı: 26510.

60. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.
URL: www.eie.gov.tr, Son Erişim Tarihi: 15.05.2014.

61. Ediger, V. Ş. (2008) *National Energy Report of Turkey: Energy Situation, Challenges and Policies for Sustainable Development*. Beijing, Çin: 15-18.

62. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2008). *Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği*. Resmi Gazete Tarihi: 09.10.2008, Resmi Gazete Sayısı: 27019.

63. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.(2008). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*. Resmi Gazete Tarihi: 05.12.2008, Resmi Gazete Sayısı: 27075.

64. Maçka, S. (2008). *Türkiye İklim Bölgelerine Göre Enerji etkin Pencere Türlerinin Belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

65. İnternet: Enerji Kimlik Belgesi,
URL: https://www.csb.gov.tr/db/samsun/webmenu/webmenu4379.pdf, Son Erişim Tarihi: 10.04.2014.

66. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2011). *Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik*. Resmi Gazete Tarihi: 27.10.2011, Resmi Gazete Sayısı: 28097.

67. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2012). *Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023*. Resmi Gazete Tarihi: 25.02.2012, Resmi Gazete Sayısı: 28215.

68. Türkiye İstatistik Kurumu - TÜİK (2001). *Enformasyon Bülteni*. D.D. Başkanlığı. Ankara, T.C. Başbakanlık Devlet Arşivleri Genel Müdürlüğü: 108.

69. Bağlı ve İlgili Kuruluşlar Dairesi Başkanlığı (2012). *Mavi Kitap 2012: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri*. Ankara.

70. Türkiye İstatistik Kurumu - TÜİK (2013). *Türkiye İstatistik Kurumu "İstatistiklerle Türkiye 2012", TÜIK-3942*. Ankara.
71. İnternet: Gayrimenkul ve Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı Derneği - GYODER (2012). URL: http://www.gyoder.org.tr/, Son Erişim Tarihi: 05 Haziran 2014.

72. GfK Türkiye (2009). *Türkiye'nin Enerji Verimliliği Bilinci Araştırması*. İstanbul.

73. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü – YEGM, *Hane Halkına Yönelik Enerji Verimliliği Araştırma Raporu*.
URL: http://www.eie.gov.tr/genel_istatistikler.aspx, Son Erişim Tarihi: 01.06.2011.

74. Sev, A., Gür. V, Özgen. A., (2004). *Cephenin Vazgeçilmez Saydam Malzemesi Cam*. 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul. S: 2-6.

75. Slessor, C. (1998). Glass Evolution (Use of Glass in Architecture), *Architectural Review May.*

76. Eşsiz, Ö. (2004). *Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler*. 1.Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul. S: 73-82.

77. Wigginton, M. (1998). *Glass und Architecture, Bauen mit Glass Detail.* Almanya: 309-310.

78. Tavil, A., (2004). *Cephe Sistemlerinde Yeni Teknolojiler Elektrokromik Pencereler*. 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul. S: 2-3.

79. Toydemir, N. (1990). *Cam Yapı Malzemeleri*. Eskişehir: Sakarya Gazetecilik ve Matbaacılık Tic. A.Ş.

80. Compagno, A. (2002). *Intelligent Glass Facades.* Berlin: Brikhauser Basel, 109-110.

81. Saraç, Y., Parlar, H.A., Kaplan, C. ve Ersoy, A. (2003). *Kaplamalı Camlarda Fonksiyon Tasarımı, Teknoloji ve Ürün Geliştirme*. Yapı Malzemeleri Kurultayı 2003, İstanbul. 8-9.

82. Altınkaya, T. (2004). *Camın Yapısal Kullanımının Tarihsel Gelişimi, Güncel Olanaklar ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

83. Kocabağ, D. (2000). Cam: Kimyası, Özellikleri, Uygulaması, İstanbul: Birsen Yayınevi.

84. Wigginton, M. (1996). *Glass in Architecture*. Londra: Phaidon Press Ltd., 29-41.

85. Şenkal, S. F. (2005). Farklı Cam Türlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(1), 15-21.

86. Köknel, Y. A. (2007). *Binalarda Günışığından Yararlanma Yöntemleri Çağdaş Teknikler*. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 231-241.

87. Button, D. (1993). History of Architectural Glass and Building Technology, *Architectural Design*, 49.

88. Compagno, A. (2003). Glass as a Building Material and Its Possible Applications. Detail (3) 434-442

89. Button, D. ve Pye, B. (1993). *Glass in Building, Pilkington Glass*, Oxford: Butterworth-Heinemann.

90. Şişecam (1999). Cam Yapı Elemanları Kataloğu. İstanbul.

91. Baranache, R., Designing with Fritted Glass, *Architecture*, 83(5), 1997, New York, 149-152.

92. İnternet: High Performance Commercial Building Facades, URL: www.gaia.lbl.gov/hpbf, Son Erişim Tarihi:10.10.2012.

93. Kahraman, İ., (2002). *Cam Malzemenin Türleri, Özellikleri ve Sınıflandırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

94. Akyürek, Y. (2001). Gelişim, Mimarlık ve Cam, *Ege Mimarlık Dergisi,* Mart, 22-28.

95. Vitart, M. (1997). Flat Roof Construction - Museum of Art in Lille, *Detail*, 97/5, 748-751.

96. Curl, J. S. (1999). Dictionary of Architecture, Oxford University Press, Oxford.

97. Othmer, K. (1998). Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons Inc., New York.

98. Akyürek, Y. (1998). *Mimarlar Cam Seçimi ve Tasarımında Daha Etkili Olabilmeli*. Şişecam, Camtaş Düzcam Pazarlama A.Ş. Teknik Bilgi Kitapçığı: 22-24.

99. Şişecam, (1995). *Cam Yapı Elemanları Kataloğu*. İstanbul: 1-104.

100. Weidtman, G., E. (1999). *Giydirme Cephelerde Güneş Enerji Kontrollü Reflektif Cam Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.* Almanya: Flachglas AG, 24-28.

101. Akyürek, Y. (1993). Mimari Cam Konusundaki Yenilikler, *Dizayn Konstrüksiyon Dergisi*, Sayı:92, 29-33.

102. Akyürek, Y. (1999). Yaşam ve Cam, *Camtaş Düzcam Pazarlama A.Ş.*, Teknik Bilgi Kitapçığı, İstanbul, 1-11.

103. Peter, J. (1964). *Design with Glass*, New York: Reinhold Pub. Corp., 7-64.

104. Küçükdoğu, M., Ş. (1976). *İklimsel Konfor ve Aydınlık Seviyesine Bağlı Görsel Konfor Gereksinimleri Açısından Pencerelerin Tasarlanmasında Kullanılabilecek Bir Yöntem*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

105. Mağgönül, G. (1999). *Giydirme Cephe Camları*, Cephe Sistemleri ve Cephe Kaplamaları Sempozyum Bildirileri, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul, 61-84.

106. Umaroğulları, F. (2001). *Yapı Kabuğunda Cam Malzeme Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

107. Cowan, H. J. (1980). *Solar Energy Applications in the Design of Buildings*, London: Applied Science Publishers Ltd.

108. Özdemir, B. B. (2005). *Sürdürülebilir Çevre için Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

109. Zeren, L. ve diğerleri. (1987). *Türkiye'de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeline İlişkin Çalışma*, Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

110. İnternet: Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği (İZODER) TS 825 Hesap Programı.
URL: http://izoder.org.tr/tr/dokumanlar/hesap_makinesi/ts_825_yardim.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.05.2014.

111. İnternet: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
URL: www.mgm.gov.tr, Son Erişim Tarihi: 11.05.2013.

112. Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) Toplu Konut Projeleri ve Araştırma Dairesi Başkanlığı Arşivi.

113. İnternet: U.S: Department of Energy, Bina Enerji Yazılım Araçları Rehberi.
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=575/pagename_submenu=/pagename_menu=whole_building_analysis/pagename=subjects, Son Erişim Tarihi: 20.05.2014.

114. İnternet: Energy Design Resources, eQUEST.
URL: http://energydesignresources.com/resources/software-tools/equest.aspx, Son Erişim Tarihi: 20.05.2014.

115. American National Standards Institute. (2011). Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, *ANSI/ASHRAE Standard 140-2011*, U.S.A.

EKLER

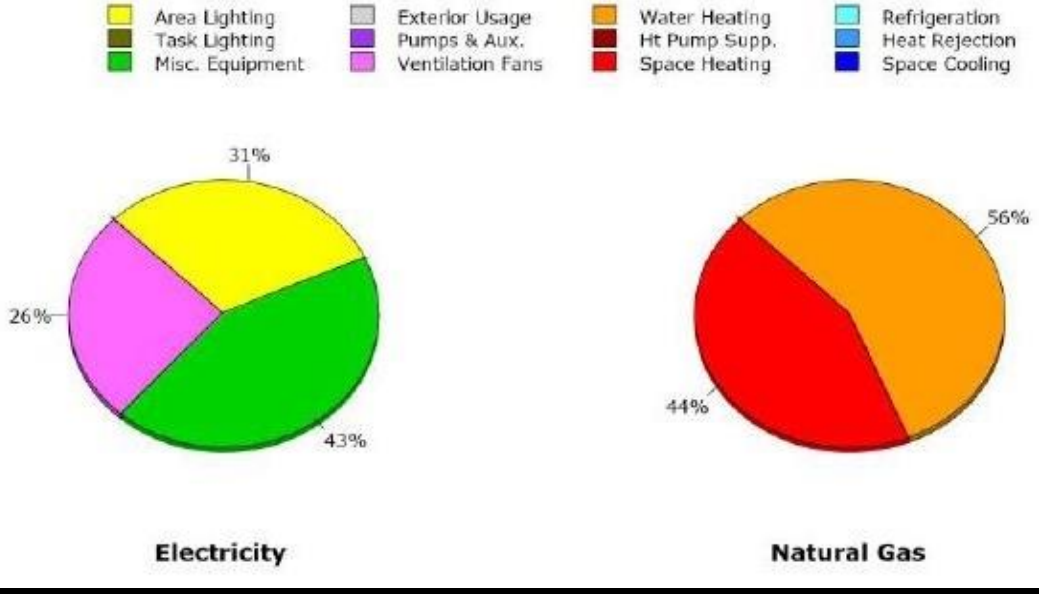
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.1. Senaryo 1'in mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Singl clear-1001- Izmir - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	174,51	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	223,95	-	-
Vent. Fans	42,12	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,73	398,46	-	-



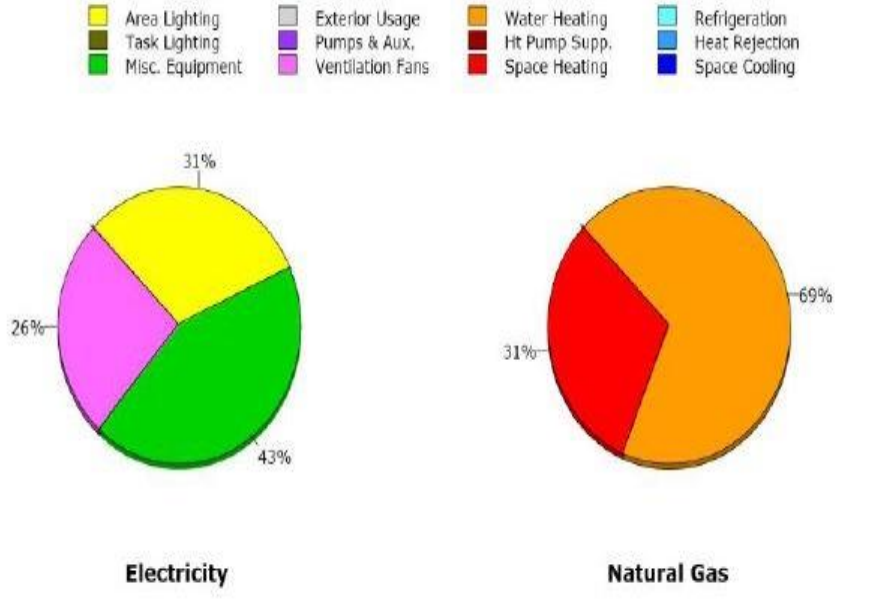
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.2. (devam) Senaryo 2'in mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Singl Low-e- 1602-Izmir - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	102,93	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	223,94	-	-
Vent. Fans	42,08	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,70	326,87	-	-



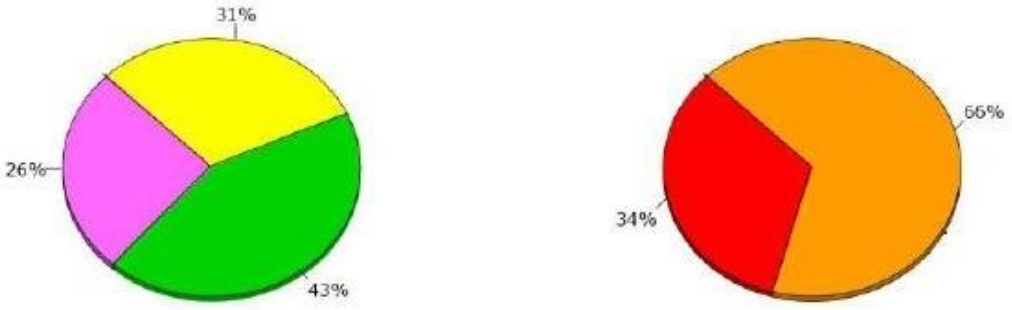
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.3. (devam) Senaryo 3'ün mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Doble clear-2005- Izmir - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	112,83	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	223,97	-	-
Vent. Fans	42,08	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,70	336,80	-	-



Electricity **Natural Gas**

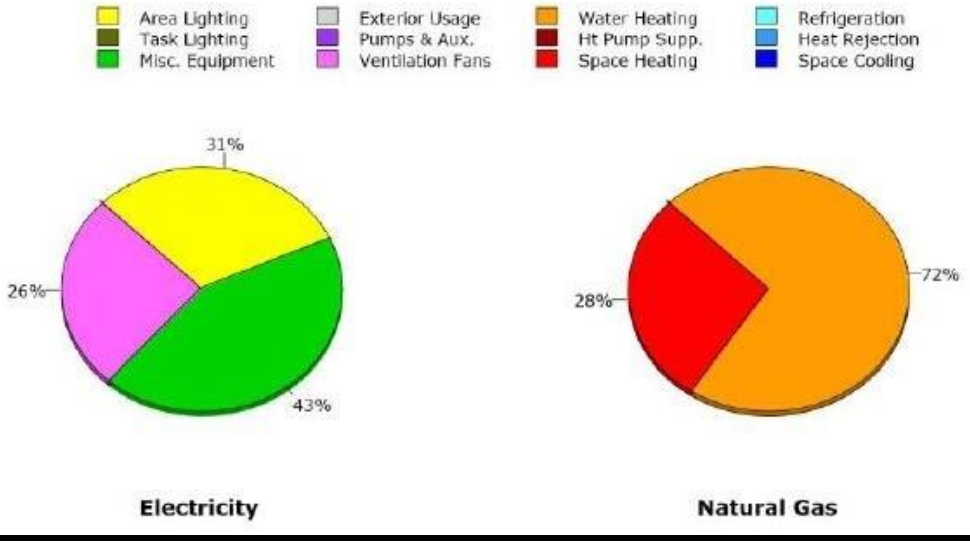
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.4. (devam) Senaryo 4'ün mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Double Low-e-2635- Izmir - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	89,24	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	224,00	-	-
Vent. Fans	42,08	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,69	313,24	-	-



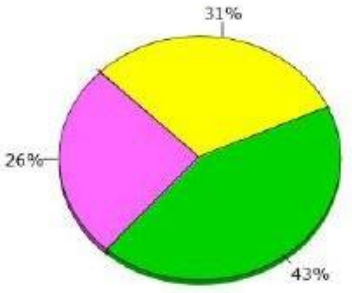
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.5. (devam) Senaryo 5'in mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

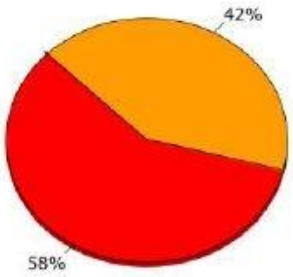
Project/Run: Singl Clear -1001-istanbul - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	336,02	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	242,04	-	-
Vent. Fans	42,29	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,91	578,05	-	-



Electricity



Natural Gas

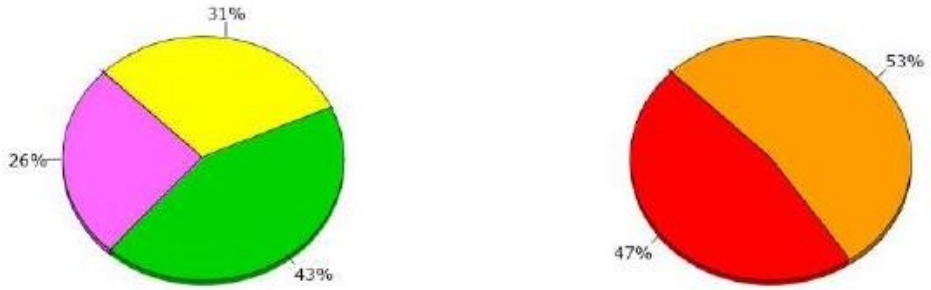
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.6. (devam) Senaryo 6'nın mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: low-e singl -1602-istanbul - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	214,08	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	242,03	-	-
Vent. Fans	42,17	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,78	456,11	-	-



Electricity **Natural Gas**

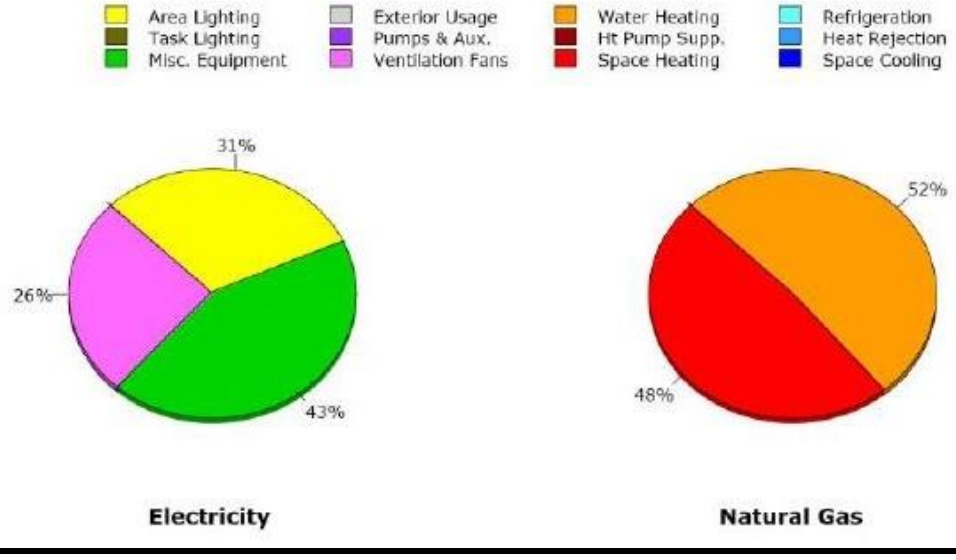
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.7. (devam) Senaryo 7'nin mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Double Clear -2005-istanbul - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	227,87	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	242,05	-	-
Vent. Fans	42,18	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,79	469,91	-	-



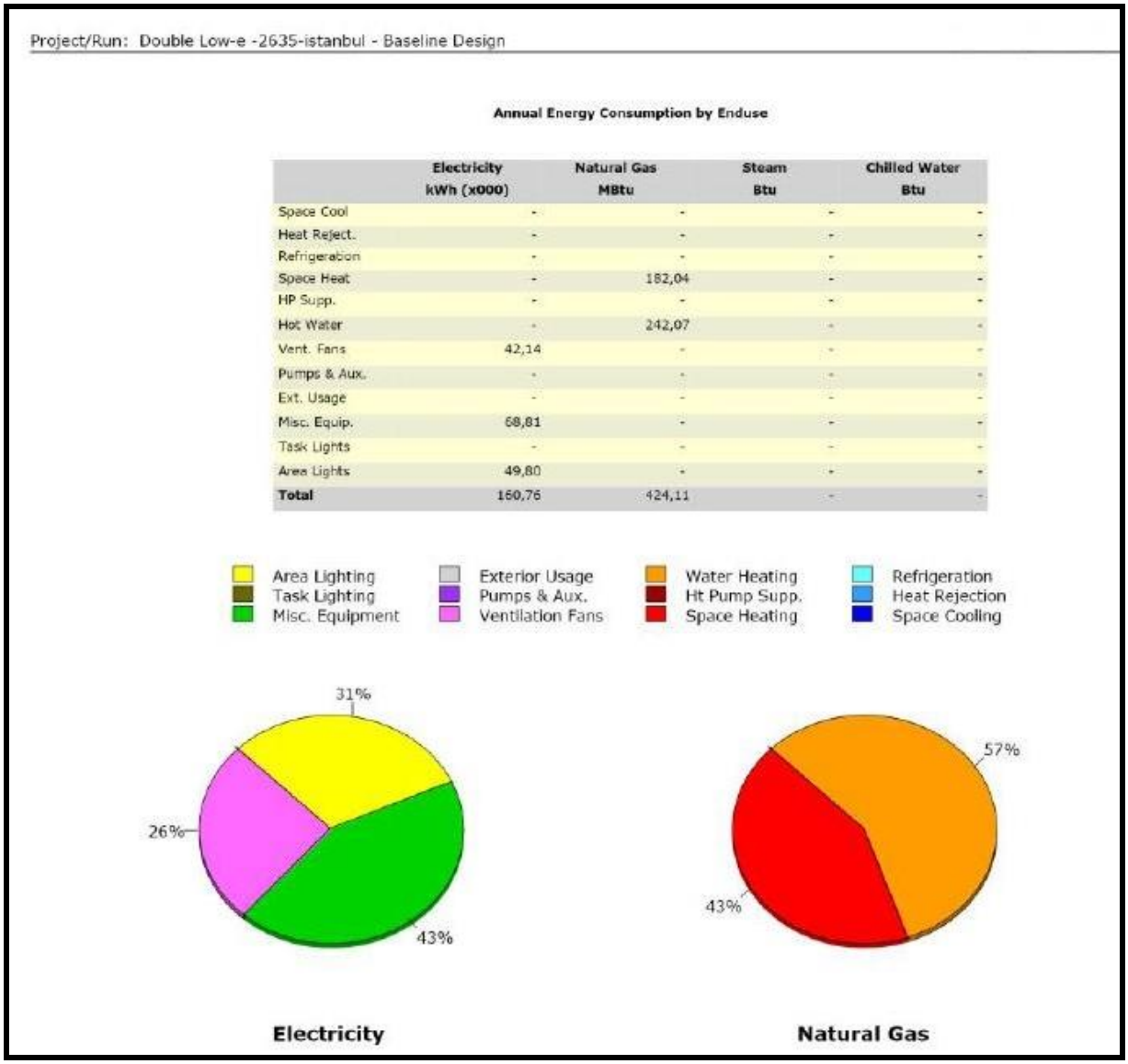
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.8. (devam) Senaryo 8'in mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Double Low-e -2635-istanbul - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	182,04	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	242,07	-	-
Vent. Fans	42,14	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,76	424,11	-	-



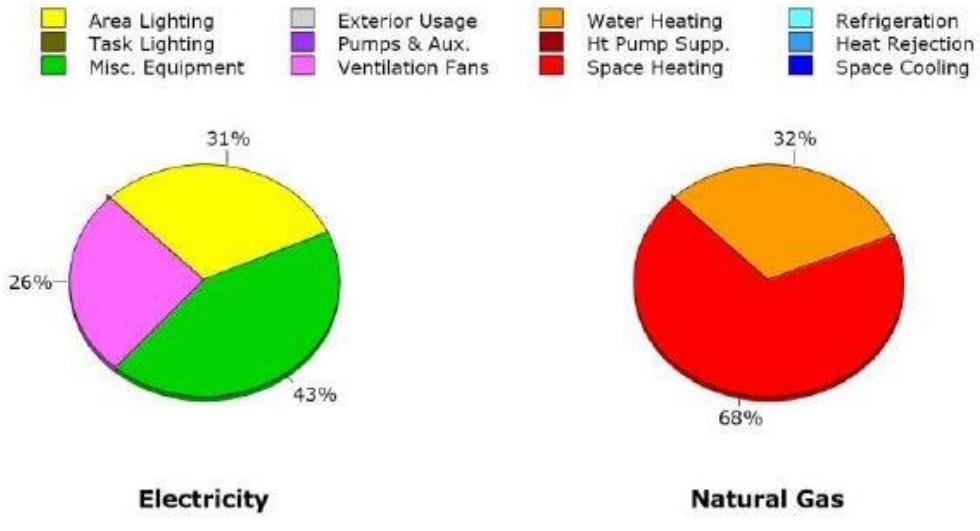
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.9. (devam) Senaryo 9'un mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Single Clear - 1001-ANKARA - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	610,67	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	281,28	-	-
Vent. Fans	42,55	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	161,17	891,95	-	-



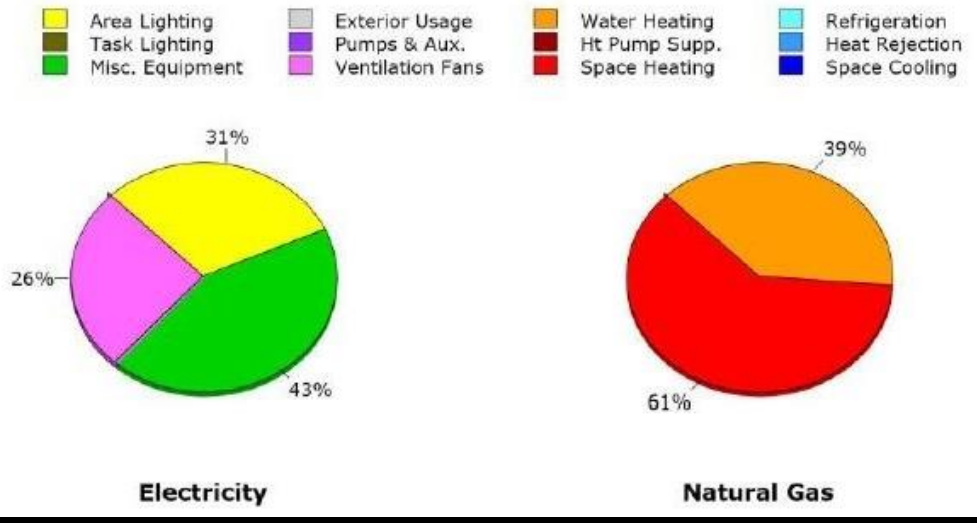
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.10. (devam) Senaryo 10'un mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Singl Low-e- 1602-ANKARA - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	442,70	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	281,28	-	-
Vent. Fans	42,35	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,97	723,98	-	-



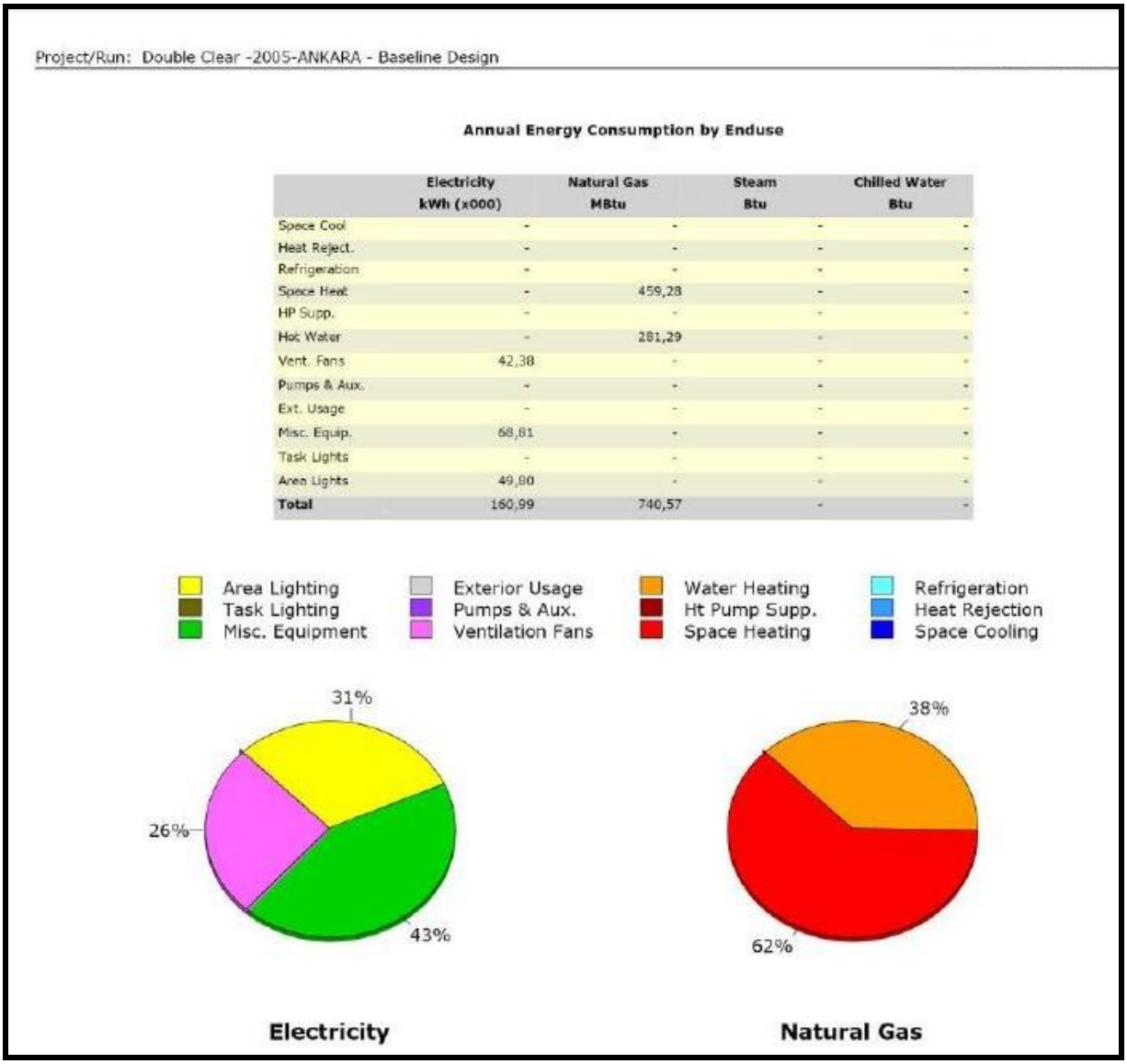
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.11. (devam) Senaryo 11'in mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketimi

Project/Run: Double Clear -2005-ANKARA - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	459,28	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	281,29	-	-
Vent. Fans	42,38	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,99	740,57	-	-



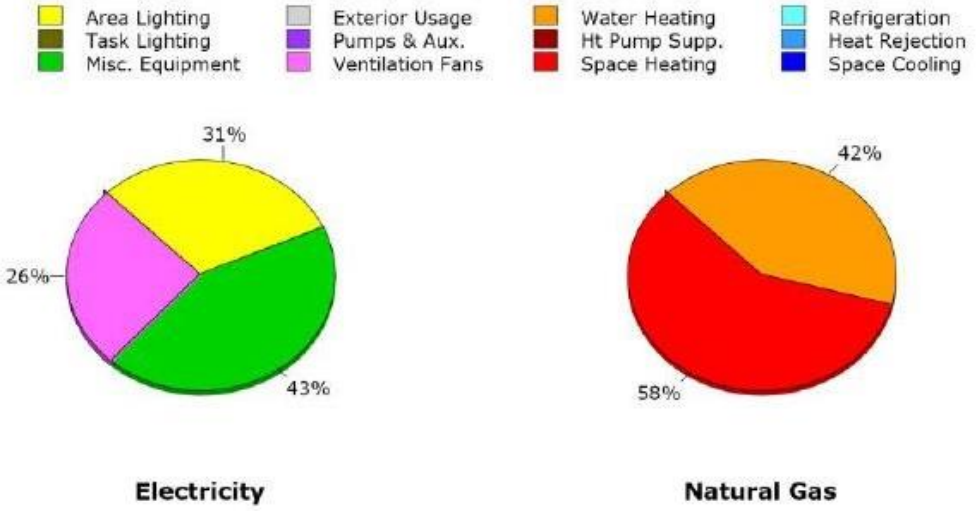
EK-1. eQUEST simülasyon programında yapılan değerlendirmeler

Çizelge 1.12. (devam) Senaryo 12'nin mekan ısıtması ve su ısıtması için doğal gaz kullanımından kaynaklanan yıllık enerji tüketi

Project/Run: Double Low-e -2635-ANKARA - Baseline Design

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	388,98	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	281,32	-	-
Vent. Fans	42,31	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-
Misc. Equip.	68,81	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	49,80	-	-	-
Total	160,93	670,29	-	-



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAGHERI FARAHBAKHSH, Elnaz

Uyruğu : Iran

Doğum tarihi ve yeri : 24.06.1983 Iran - Tabriz

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (507) 667 89 03

e-mail : farahbakhsh.elnaz@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Azad-E İslami Üniversitesi	2008
Lise	Toulue Danesh	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2007	Konut İç Mimari Tasarım ve Uygulaması	Mimar
2009-2010	Uluslararası İnşaat Konferansı, Tebriz-İran.	Fotoğrafçı, Organizatör
2010-2011	Boyut Maket Şirketi	Mimar
2011-2013	Kültür Bakanlığı	Fotoğrafçı
2011-Halen	İran Büyükelçiliği	Fotoğrafçı
2011-Halen	http://www.az-photo.net/	WebSayfası Editörü
2013-Halen	Paksoy Teknik Firması	Mimar

Yabancı Dil

Farsça, Azerice, İngilizce, Türkçe

Hobiler

Fotoğrafçılık, spor, kitap okumak, resim.

GAZİ GELECEKTİR...