

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ILIMAN-NEMLİ İKLİM BÖLGELERİNDE ÇİFT KABUK
CEPHE SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANILAN
CAM BİLEŞENLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

NEVRİYE SÜMEYYE KAVAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ILIMAN-NEMLİ İKLİM BÖLGELERİNDE
ÇİFT KABUK CEPHE SİSTEMİNİN
İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANILAN CAM
BİLEŞENLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

NEVRİYE SÜMEYYE KAVAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ELİF ÖZER YÜKSEL

GEBZE
2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**EVALUATION OF GLASS COMPONENTS
USED IN IMPROVEMENT OF DOUBLE
SKIN FACADE SYSTEM IN TEMPERATE-
HUMID CLIMATE ZONES IN TERMS OF
ENERGY EFFICIENCY**

NEVRIYE SÜMEYYE KAVAK
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. ELİF ÖZER YÜKSEL

GEBZE
2022



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/06/2022 tarih ve 2022/31 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25/08/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Nevriye Sümeyye KAVAK 'ın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Elif ÖZER YÜKSEL

ÜYE

: Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Sinem KÜLTÜR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Dünya'daki sanayileşme faaliyetlerinin gelişmesi insanları yaşadıkları yerden şehir merkezlerine doğru göç etmelerine neden olmaktadır. Dolayısıyla şehir merkezlerinde insan yoğunluğunu karşılayacak binalara ihtiyaç duyulmaktadır. Artan bina ihtiyacını karşılamak üzere kullanılan ham madde ve enerji beraberinde CO₂ emisyonunun artması, sera gazı ve küresel ısınma gibi sorunları da meydana getirmektedir. Bu sorunlara çözüm olarak yapı sektöründe çeşitli sürdürülebilir, enerji etkin tasarım ilkeleri ve uygulamaları ortaya konulmaktadır.

Binalarda enerji yoğun olarak ısıtıl, görsel, akustik ve iç ortam kalitesi gibi konfor koşullarını sağlamak için kullanılmaktadır. Bu konfor koşulları, binayı dış ortam koşullarına karşı koruyan ve çevreleyen cephe sistemiyle sağlanmaktadır.

Çalışmada, Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binasının güney yönündeki mevcut cephesinde çift kabuk cephe sistemine bağlı iyileştirme senaryolarının kurgusu yapılmıştır. Senaryolarda kullanılan low-e katmanlı camın bulunduğu konum ve gaz türünün ısıtma ve soğutma enerji tüketimindeki performanslarının ılıman-nemli iklim bölgesine göre değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Isıtma ve soğutma enerji tüketim değerlerinin analizinde Rhinoceros / Grasshopper programının eklentisi olan Honeybee kullanılmıştır.

Sonuç olarak, ılıman-nemli iklim kuşağında mevcut binanın iyileştirilmesi için low-e katmanlı cam ve argon gazının çift cidarlı cephe sistemi ile kullanılması, ısıtma ve soğutma enerji tüketiminde mevcut duruma göre verimlilik sağlamıştır. Ayrıca low-e katmanlı camın bulunduğu konum ve cam tabakalar arasında kullanılan gaz türünün ısıtma ve soğutma enerji tüketim performansındaki önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Etkinliği, Çift Kabuk Cephe Sistemi, İlıman-Nemli İklim, İyileştirme, Rhinoceros/Grasshopper, Low-e Cam.

SUMMARY

The development of industrialization activities in the world causes people to migrate from where they live to city centers. Therefore, there is a need for buildings to meet the density of people in city centers. The raw materials and energy used to meet the increasing need for buildings cause problems such as increased CO₂ emissions, greenhouse gases and global warming. Several practices of sustainable and energy efficient designs are put forward as a solution.

Energy is used extensively in buildings to provide comfort conditions such as thermal, visual, acoustic and indoor air quality. Façade systems provide the conditions of comfort by protecting the building and its surroundings from external environmental conditions.

In the study the existing south façade of the Gebze Technical University Rectorate Administrative Building is improved with double-skin façade system. It aims to evaluate the performance of the low-e layered glass used in the study and gas type in heating and cooling energy consumption according to the temperate-humid climate region. Analysing energy consumption values was made using Honeybee, which is an add-on to the Rhinoceros / Grasshopper program.

As a result, the using of low-e layered glass and argon gas to improve the existing building in the temperate-humid climate zone with the double-skin façade system provided efficiency in heating and cooling energy consumption compared to the current situation. In addition, the location of the low-e layered glass and the type of gas used between the glass layers are emphasized in terms of heating and cooling energy consumption performance.

Keywords: Energy Efficiency, Double-Skin Façade System, Temperate- Humid Climate, Rhinoceros/Grasshopper, Low-e Glass.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda değerli bilgileri ve katkılarıyla beni yönlendiren, yol gösteren, bu çalışmanın yolunu açan çok değerli ve kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Elif ÖZER YÜKSEL'e,

Çalışmam boyunca bana olan inançlarını ve güvenlerini kaybetmeyen, desteklerini esirgemeyen, sürekli yanımda olan ablama, kardeşlerime, babama ve özellikle de çok kıymetli, değerli canım anneme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	2
1.2. Amaç	3
1.3. Kapsam	3
1.4. Yöntem	4
1.5. Hipotez	4
2. YAPILARDA ENERJİNİN ETKİN KULLANIMI	5
2.1. Enerji Etkin Çift Kabuk Cephe Sistemleri	7
2.2. Çift Kabuk Cephe Sisteminin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	8
2.2.1. Çift Kabuk Cephe Sisteminin Çalışma Prensibi	13
2.2.2. Çift Kabuk Cephe Sistem Bileşenleri	18
2.2.2.1. Saydam ve Opak Bileşenler	19
2.2.2.2. Taşıyıcı ve Tespit Bileşenler	20
2.2.2.3. Havalandırma Boşluğu	21
2.2.2.4. Güneş Kontrol Elemanları	22
2.2.2.5. Yürüme Yolu	23
3. ÇİFT KABUK CEPHE SİSTEMLERİNDE CAM BİLEŞENLERİNİN	24
ENERJİ ETKİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN	
PARAMETRELER	
3.1. Güneş Spektrumu ve Güneş Işınımı	24
3.2. Cam Bileşenlerin Optik ve Termofiziksel Özellikleri	25
3.2.1. Camların Optik Özellikleri	27

3.2.2. Camların Termofiziksel Özellikleri	30
3.2.3. Saydamlık Oranı	31
3.2.4. Gazların Termofiziksel Özellikleri	32
3.3. Cam Bileşenlerin Enerji Etkin Tasarım Parametreleri	33
3.3.1. Güneş Kontrolü	33
3.3.2. Isı Korunumu	35
3.3.3. Güneş Kontrolü	36
3.4. Cam Türleri	36
3.4.1. Renksiz (Düz) Camlar	37
3.4.2. Güneş Kontrol Camlar	38
3.4.3. İklim Kontrollü Camlar	39
4. İKLİMSEL TASARIM PARAMETRELERİ	46
4.1. Ilıman-Nemli İklim Özellikleri	46
4.2. Ilıman-Nemli İklim Bölgesine Ait İklimsel Tasarım Parametreleri	52
4.2.1. Binanın Bulunduğu Yer	53
4.2.2. Bina Aralıkları	54
4.2.3. Binanın Yönlenmesi ve Formu	54
4.2.4. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri	55
4.2.5. Doğal Havalandırma	57
4.2.6. Güneş Kontrolü	58
4.2.7. Nem Kontrolü	59
5. MEVCUT BİNALARIN ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRİLMESİ	60
5.1. Enerji Etkin İyileştirmenin Tanımı ve Amaçları	60
5.2. Saydam Bileşenlerin Enerji Etkin İyileştirilmesi	62
5.3. Çift Kabuk Cephe Kullanımına Bağlı Enerji Etkin İyileştirme	78
6. ILIMAN-NEMLİ İKLİM BÖLGELERİNDE ÇİFT KABUK CEPHE SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANILAN CAM BİLEŞENLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	83
6.1. Çalışmada Kabul Edilen Sınırlılıklar	83
6.2. Çalışmanın Yöntemi	85
6.2.1. Enerji Performans Analizi için Rhinoceros/Grasshopper	86
6.3. Binaya Ait Verilerin Toplanması ve Programda Tanımlanması	90

6.3.1. İklim Verileri	90
6.3.2. Mevcut Binaya İlişkin Veriler	92
6.3.3. Enerji Etkin İyileştirme Senaryoları	98
6.4. Çalışmadan Elde Edilen Veriler	103
6.4.1. Mevcut Binanın Yıllık Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Hesaplanması	104
6.4.2. Senaryoların Yıllık Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Hesaplanması	107
6.4.3. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Performans Değerlendirmesi	117
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	124
KAYNAKLAR	129
ÖZGEÇMİŞ	134
EKLER	135

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	
α	: Gelen ışıınıımı yutuculuk katsayısı
α_{sol}	: Güneş ışıınıımı soğurma (absorbe) katsayısı
α_{vis}	: Gün ışığı soğurma katsayısı
λ	: Isı iletkenlik katsayısı
c	: Özgöl ısı
cm	: Santimetre
d	: Cam kalınlığı
K	: Kelvin
KWh	: KiloWattsaat
kWh/m ²	: KiloWattsaat / metrekare
mm	: Milimetre
μ	: Dinamik viskozite
nm	: Nanometre
ρ	: Elektrik alan vektörü
R	: Gelen ışıınıımı yansıtma katsayısı
R_{sol}	: Güneş ışıınıımı yansıtma katsayısı
R_{vis}	: Gün ışığı yansıtma katsayısı
S1	: Senaryo 1
S2	: Senaryo 2
S3	: Senaryo 3
S4	: Senaryo 4
T	: Gelen ışıınıımı geçirme katsayısı
T_{sol}	: Güneş ışıınıımı geçirgenlik katsayısı
T_{vis}	: Gün ışığı geçirgenlik katsayısı
U	: Isı geçirgenlik katsayısı
U_D	: Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_p	: Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı
U_T	: Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_t	: Zemine oturan döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı

CO ₂	: Karbondioksit
CSA	: Gebze Teknik Üniversitesi
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
M.D.	: Mevcut Durum
PVC	: Polivinil Klorür
SC	: Gölgeleme katsayısı
SHGC	: Güneş ısısı kazanç katsayısı
T.C	: Türkiye Cumhuriyeti
TS 825	: Türk Standartları 825
UEVEP	: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
vb	: Ve benzeri
3D	: 3 Boyut

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Çift kabuk cephe sistem bileşenleri.	9
2.2: a) Steiff oyuncak fabrikasına ait eski fotoğraf, b) Günümüze ait fotoğraf.	10
2.3: Post Office Savings Bank binası.	10
2.4: Narkomfin binası (1928-1932).	11
2.5: Centrosoyus binası (1929-1936).	11
2.6: Çift kabuk cephe sisteminin çalışma prensibi.	14
2.7: Bina tipine göre havalandırma boşluk çeşidi.	14
2.8: Hava boşluğundaki hava sirkülasyon çeşitleri.	16
2.9: Kat yüksekliğinde çift kabuk cephe sistemi (Plan- Kesit- Görünüş).	18
2.10: Çift kabuk cephe sistem bileşenlerinin perspektifi ve kesiti.	19
2.11: Taşıyıcı ve tespit bileşenler.	20
2.12: Cephe paneli ve taşıyıcı strüktür arasındaki tespit yeri.	21
2.13: Güneş kontrol elemanlarının çift kabuk cephedeki konumları.	22
3.1: Güneş spektrum grafiği.	24
3.2: Çift kabuk cephe sisteminin şematik kesiti.	26
3.3: Güneş spektrumu ve spektral seçicilik.	28
3.4: İç camda düşük yayınlı (low-e) camın kullanımı.	40
3.5: Dış camda düşük yayınlı (low-e) camın kullanımı.	40
4.1: Köppen– Geiger iklim sınıflandırmasına göre Dünya haritası.	46
4.2: Köppen–Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye’nin iklim bölgeleri.	49
4.3: Lütfi Zeren’nin iklim sınıflandırmasına göre Türkiye’nin iklim bölgeleri.	50
4.4: TS 825’e göre Türkiye’nin derece gün bölgelerine göre illeri.	51
4.5: Binanın doğal çevreye uygun yer seçimi.	53
4.6: Binanın yapay çevreye uygun yer seçimi.	53
5.1: S1, S2, S3 ve M.D. için yıllık ısıtma enerji tüketimi ve CO ₂ salım değerleri.	64
5.2: S1, S2, S3 ve M.D. için yıllık soğutma enerji tüketimi ve CO ₂	65

	salım değerleri.	
5.3:	S1, S2, S3 ve MD İçin yıllık toplam enerji tetimi ve CO ₂ salım değerleri.	65
5.4:	S2 senaryosuna ait enerji tetimlerinin yenileme öncesi ve sonrası değerlerinin karşılaştırması.	67
5.5:	a) neri 1 ve b) neri 2’de cam türlerinin ısıtma enerji yüklerinin karşılaştırması.	71
5.6:	neri 3’de cam türlerinin ısıtma enerji yüklerinin karşılaştırması.	71
5.7:	a) neri 1 ve b) neri 2’de cam türlerinin soğutma enerji yüklerinin karşılaştırması.	72
5.8:	neri 3’deki cam türlerinin soğutma enerji yüklerinin karşılaştırması.	72
5.9:	a) neri 1 ve b) neri 2’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının soğutma enerji yükleri karşılaştırması.	73
5.10:	neri 3’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının soğutma enerji yüklerinin karşılaştırması.	73
5.11:	a) neri 1 ve b) neri 2 için cam türlerine göre aydınlatma enerji yüklerinin karşılaştırması.	74
5.12:	neri 3’de cam türlerine göre aydınlatma enerji yüklerinin karşılaştırması.	74
5.13:	a) neri 1 ve b) neri 2’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının aydınlatma enerji yüklerinin karşılaştırması.	75
5.14:	neri 3’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının aydınlatma enerji yüklerinin karşılaştırması.	75
5.15:	a) neri 1 ve b) neri 2’de cam türlerinin yıllık birincil enerji yüklerinin karşılaştırması.	76
5.16:	neri 3’de cam türlerinin yıllık birincil enerji yüklerinin karşılaştırması.	76
5.17:	a) neri 1 ve b) neri 2’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının yıllık birincil enerji yüklerinin karşılaştırması.	77
5.18:	neri 3’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının yıllık birincil enerji yüklerinin karşılaştırılması.	77
6.1:	Rhinoceros programının ara yüzü.	87

6.2:	Grasshopper programının ara yüzü.	87
6.3:	Grasshopper programının çalışma prensibi.	88
6.4:	Grasshopper programının görsel algoritma sistemi.	88
6.5:	Grasshopper programının eklentileri ve kullanıcı objeleri.	89
6.6:	Grasshopper programı için eklentiler.	89
6.7:	Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası vaziyet planı.	92
6.8:	Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası zemin kat planı.	93
6.9:	Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası normal kat planı.	93
6.10:	Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası ön görünüş.	93
6.11:	a) Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binasına ait sağ yan görünüş, b) Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binasına ait sol yan görünüş.	94
6.12:	Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası arka görünüş.	94
6.13:	Grasshopper programından binaya ait verilerin parametrik kodlanması.	95
6.14:	Mevcut binanın 3 boyutlu görseli.	96
6.15:	Mevcut binaya ait iklim verilerinin .epw olarak programa yüklenmesi.	96
6.16:	Cepheye ait saydam ve opak bileşenlerin programda tanımlanması.	97
6.17:	Isıtma ve soğutma sistemlerin programda tanımlanması.	98
6.18:	Senaryo 1 (S1) ait iyileştirme önerisi.	99
6.19:	Senaryo 2 (S2) ait iyileştirme önerisi.	100
6.20:	Senaryo 3 (S3) ait iyileştirme önerisi.	100
6.21:	Senaryo 4 (S4) ait iyileştirme önerisi.	101
6.22:	“Performans Hesaplayıcı” programının ara yüzü.	101
6.23:	“Performans Hesaplayıcı” programına veri girişi.	102
6.24:	“Performans Hesaplayıcı” programının sonuç raporu.	102
6.25:	Duvar malzeme detayları.	104
6.26:	Mevcut cam bileşeninin görsel algoritması.	105
6.27:	Mevcut binanın m ² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.	106
6.28:	Mevcut binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.	106
6.29:	Mevcut binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.	107

6.30:	Senaryo 1 için oluşturulan sistem parametrelerinin görsel algoritması.	108
6.31:	Senaryo 1’de binanın m ² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.	108
6.32:	Senaryo 1 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.	109
6.33:	Senaryo 1 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.	109
6.34:	Senaryo 2 için oluşturulan sistem parametrelerinin görsel algoritması.	110
6.35:	Senaryo 2’de binanın m ² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.	111
6.36:	Senaryo 2 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.	111
6.37:	Senaryo 2 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.	112
6.38:	Senaryo 3 için oluşturulan sistem parametrelerinin görsel algoritması.	113
6.39:	Senaryo 3’de binanın m ² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.	113
6.40:	Senaryo 3 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.	114
6.41:	Senaryo 3 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.	114
6.42:	Senaryo 4 için oluşturulan sistem parametrelerinin görsel algoritması.	115
6.43:	Senaryo 4’de binanın m ² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.	116
6.44:	Senaryo 4 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.	116
6.45:	Senaryo 4 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.	117

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Kullanılan farklı gaz türlerinin termofiziksel özellikleri (*Standart sınır koşulları).	33
3.2: Renksiz (düz) cam türünün kalınlık değerlerine göre performansı.	38
3.3: Çift tabakalı camların gaz türlerine göre termofiziksel özellikleri.	41
3.4: Üç tabakalı camların gaz türlerine termofiziksel özellikleri.	42
3.5: Farklı özelliğe sahip low-e katmanlı cam türlerinin karşılaştırması.	43
4.1: Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre iklim tipleri ve özellikleri.	47
4.2: Sıcak-nemli iklim bölgesinde bulunan iller.	50
4.3: Sıcak-kuru iklim bölgesinde bulunan iller.	50
4.4: Ilıman-kuru iklim bölgesinde bulunan iller.	50
4.5: Ilıman-nemli iklim bölgesinde bulunan iller.	51
4.6: Soğuk iklim bölgesinde bulunan iller.	51
4.7: TS 825'e göre 5 farklı iklim bölgesine ait önerilen azami U değerleri.	55
5.1: S2'deki saydam bileşene ait parametre değerleri.	64
5.2: Cam türlerinin optik ve termofiziksel özelliklerine ait değerler.	68
5.3: Birinci durumdaki senaryoların karşılaştırması.	68
5.4: İkinci durumdaki senaryoların karşılaştırması.	69
5.5: Öneriler ve parametre değişkenleri.	70
5.6: Isıtma performansında etkinlik gösteren parametreler ve değerleri.	71
5.7: Soğutma performansında etkinlik gösteren parametreler ve değerleri.	73
5.8: Aydınlatma performansında etkinlik gösteren parametreler ve değerler.	75
5.9: Yıllık birincil enerji performansında etkinlik gösteren parametreler ve değerleri.	77
5.10: Senaryoların termofiziksel özelliklerine ait performans değerleri.	82
6.1: Kocaeli iklim verileri (1929-2020).	91
6.2: GTÜ Rektörlük İdari Binasına ait bilgiler.	94

6.3:	Mevcut binanın cephelerine ait yüzey alanları ve saydıamlık oranları.	97
6.4:	Çalışmada girdi olarak ele alınan sabit ve değişken bileşenlerin özellikleri.	99
6.5:	Düşük yayınımlı (low-e) camın bulunduğu konuma göre optik ve termofiziksel özellikler değerleri.	103
6.6:	Mevcut binaya ait cam bileşeninin termofiziksel özellik değerleri.	105
6.7:	Mevcut durum ve iyileştirme senaryolarına ait m ² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri.	117
6.8:	Mevcut duruma göre senaryoların yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketimindeki iyileştirme oranları.	118

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki enerji tüketimi; sanayileşme faaliyetlerinin gelişmesiyle, ham madde kullanımının artmasıyla ve nüfus yoğunluğu sebebiyle bina stoğundaki hızlı artışa bağlı olarak sürekli artmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının yoğun kullanılması çevresel kirliliğe, sera gazı miktarının artışına, CO₂ emisyonunun artışına, iklim değişikliğine ve küresel ısınma gibi birçok çevresel problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu çevresel problemlerin çözümünde yenilenebilir enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanılması önem arz etmektedir.

2017 yılında Türkiye’deki toplam enerji kaynaklarının tüketimi sektörlere göre dağılım gösterdiğinde tüketim değeri sırasıyla % 24,8 ile mesken ve hizmetlerde, %24,4 ile sanayi sektöründe, %23,1 ile enerji ve çevrim sektöründe, %19,6 ile ulaşırmada, %5,1 ile enerji dışında ve %2,9 ile tarım ve hayvancılık sektörlerinde yer almaktadır [Web 1, 2019]. Yüksek enerji tüketim değerlerine sahip olan bina sektöründe yapılan enerji etkin tasarımlar, yenileme çalışmaları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, su) kullanımı enerji verimliliğini sağlama konusunda önemli katkı sağlamaktadır.

Türkiye, binalarda enerji verimliliğini sağlama konusunda taahhütler vermektedir ve hedefler belirlemektedir. 2014-2018 yılları arasında Türkiye hazırladığı 10. Kalkınma Planı’nda binalarda enerji verimliliğini sağlamak üzere bakanlıklara sorumluluklar vererek gelişmelerin takibi için alt yapı sistemleri geliştirmiştir. AB’ye uyum çalışmaları kapsamında 2017-2023 yıllarını kapsayan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP)’na ait çalışma planları 2 Ocak 2018 tarihli Resmi Gazete’de 2017/50 sayılı Yüksek Planlama Kurulu Kararı olarak yayımlanmıştır. Son gelişme olarak 2022 yılında hazırlanan “Sıfır Enerji Binalar ile Geleceği İnşa Et” deklarasyonu 11 sivil toplum kuruluşları tarafından imzalanmıştır. Bu deklarasyonun imzalanmasındaki amaç bu alanda faaliyet gösteren sektör çalışanlarının sıfır enerjili binalara dönüşüm konusunda farkındalıklarını arttırmaktır [Web 2, 2022]. Ayrıca “Onuncu Kalkınma Planı Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi” kapsamında geliştirilen eylem planlarında özel ve kamu teşebbüsleri ile binalarda enerji verimliliğini sağlama çalışmaları yürütülmektedir. “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” ne göre yeni binalarda en az C sınıfına sahip Enerji Kimlik Belgesi (EKB)’ nin olması, mevcut binaların da EKB’ ye sahip olma

zorunluluğunun yanı sıra satış ve kiralama işlemlerinde de EKB' ye sahip olma zorunluluğu getirilmiştir [Web 3, 2017].

1.1. Problemin Tanımı

Yeni binaların enerji etkin tasarlanmasında ve mevcut binaların enerji etkin iyileştirilmesinde çeşitli tasarım ilkeleri ve stratejileri söz konusu olmaktadır. Enerji etkin tasarımda rol oynayan en önemli bileşenler bina kabuğu elemanlarıdır. Bina kabuklarının enerji etkin tasarımı sonucu ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma enerjisi tüketiminde verimlilik sağlanmaktadır.

Bina kabuklarının enerji etkin tasarımında çift kabuk cephe sistemleri ön plana çıkmaktadır. Çift kabuk cephe sistemi, Amerika ve Kuzey Amerika'da yaygın kullanım alanına sahiptir [Alakavuk, 2010]. Soğuk iklim bölgelerinde bulunan binalarda ısı korunumu sağladığından dolayı ısıtma enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ilıman-nemli iklim bölgelerinde ise güneş ısı ve ışınımının etkisinde olan kalan saydam yüzeyler iç ortamın ısı değerini yükselterek soğutma enerji tüketimini arttırmaktadır. Ayrıca gün ışığı geçirgenliği sebebiyle oluşan görsel konfor sorunlarından dolayı fazla uygulama alanına sahip olmamaktadır [Göksal Özbalt ve Yıldız, 2019].

Çift kabuk cephe sistemlerinin sahip olduğu tasarım parametreleri binalarda kışın ısı kaybını, yazın ise güneş ısı kazançlarını kontrol altına almaktadır. Bina cephelerinde kullanılan çeşitli güneş kontrol elemanları, camların optik ve termofiziksel özellikleri, kabuklar üzerinde bulunan menfezler ve havalandırma boşlukları ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji tüketimini azaltmada etkin rol oynamaktadır. Saydam yüzeyleri oluşturan cam bileşenleri, iç ortamının ısı ve görsel konfor koşullarını sağlama konusunda kabukta bulunan diğer bileşenlere göre daha az etkinlik sağlamaktadır. Bu sebeple binaların ısı ve görsel konfor koşullarında etkin performans göstermesinde kullanılan camların optik ve termofiziksel özellikleri, camlar arasındaki boşluk miktarı ve cam tabakalar arasındaki gaz türü önemli olmaktadır.

Ulusal ve uluslararası makale, yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarında çift kabuk cephe sistemlerinin, soğuk iklim bölgelerindeki yeni binaların cephe tasarımında veya mevcut binaların cephe iyileştirmesine bağlı olarak kullanıldığı

alışmalara daha sık rastlanılmaktadır. Ayrıca çalışmalarda genel olarak saydam yüzeylerde kullanılan düşük yayınımlı (low-e) camın iklim koşullarına göre etkinlik değerlendirme çalışmaları bulunmaktadır. Ancak sıcak ve ılıman iklim bölgelerinde çift kabuk cephe sistem tasarımı veya iyileştirme çalışmaları, saydam yüzeylerde kullanılan low-e katmanının camdaki konumu itibariyle çift kabuk cephe sistem performansına etkisinin değerlendirildiği çalışma oldukça az bulunmaktadır.

1.2. Amaç

Bu bağlamda, ılıman-nemli iklim bölgesindeki Kocaeli ilinde bulunan Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binasının güney yönündeki mevcut cephesinin saydam yüzeyine ikinci bir katman eklenmesiyle çift kabuk cephe kullanımına bağlı iyileştirme kurgusunun yapıldığı senaryoların oluşturulması ve cephede kullanılan low-e katmanlı camın bulunduğu konumun, cam tabaklar arasında kullanılan gaz türünün ısıtma ve soğutma enerji tüketim performanslarına etkisinin değerlendirmesi amaçlanmıştır.

Elde edilen veriler sonucunda tasarımcılara ve araştırmacılara ılıman-nemli iklim koşullarına uygun düşük yayınımlı (Low-e) camın bulunduğu konumun ve cam tabakalar arasında bulunan gaz türünün ısıtma ve soğutma enerji tüketimindeki etkinlikleri hakkında bilgi vermesi ve yol gösterici olması hedeflenmiştir.

1.3. Kapsam

Bu tez çalışması kapsamında ılıman-nemli iklim bölgesindeki Kocaeli ilinde bulunan Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası olan ofis yapısı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çift kabuk cephe sistemine ait cephe bileşenlerinden biri olan cam türünde düşük yayınımlı (Low-e) cam, cam tabakalar arasında hava gazı ve argon gazı kullanılmıştır. Oluşturulan ift kabuk cephe sisteminde kabuklar arasındaki mesafe 50 cm olarak kabul edilmiştir. Saydam yüzeylerin ervelerinde yalıtımlı alüminyum malzemesi kullanılmıştır. Enerji performans değerlendirmesinde ısıtma ve soğutma enerjilerinin tüketimleri değerlendirilirken aydınlatma enerji tüketim değerleri kapsam dışı bırakılmıştır. Havalandırma boşluğunda doğal havalandırmayı sağlayan menfezler kullanılmayarak kapsam dışı bırakılmıştır.

Çalışmada ısıtma ve soğutma enerji tüketiminde low-e katmanının camda bulunduğu konumun ve cam tabaklar arasında kullanılan gaz türünün etkisini değerlendirebilmek için cephede gölgeleme araçları kullanılmamıştır.

1.4. Yöntem

Bu çalışmada yapılarda enerji etkinlik kavramı, çift kabuk cephe sistemleri ve enerji etkinlik tasarım kriterleri, bina kabuğu malzemesi olan camların özellikleri ve bunların etkinlik sağlamada önemli bir tasarım parametresi olan iklim faktörlerine ait veriler ulusal ve uluslararası yüksek lisans tezleri, doktora tezleri, makaleler, kitaplar ve bildiriler okunup, incelenmiştir. Çalışmada değerlendirmesi yapılan ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri Rhinoceros / Grasshopper programı ve Grasshopper'ın uzantısı olan Honeybee programı ile hesaplanmıştır. Enerji etkin değerlendirmede mevcut durum ve iyileştirme senaryoları sonrası ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

1.5. Hipotez

Ilıman-nemli iklim bölgesindeki mevcut bir binanın çift kabuk cephe sistemi ile iyileştirilmesi sonucunda ısıtma ve soğutma yüklerinde önemli bir oranda azalma beklenmiştir. Ayrıca cam türü olarak kullanılan low-e katmanının camdaki konumuna, cam tabakalar arasında kullanılan gaz türüne göre ısıtma ve soğutma dönemindeki enerji etkinliklerinin de değişeceği öngörülmüştür. Ilıman-nemli iklim bölgesinde low-e katmanının camın dış tabakasının iç ortama bakan yüzeyinde kullanılması ısıtma ve soğutma yüklerinde etkin sonuç vereceği düşünülmüştür. Ayrıca soğutma döneminde cam tabaklar arasında kullanılan argon gazının enerji tüketiminde etkin performans göstereceği düşünülmüştür.

2. YAPILARDA ENERJİNİN ETKİN KULLANIMI

Sanayi devriminden başlayıp günümüze kadar yoğun faaliyet gösteren yapı sektörü ve sürekli gelişen teknoloji yoğun enerji tüketimine sebep olmaktadır. Binalarda enerji tüketimi, dış ortam koşullarına doğrudan maruz kalan, iç ortam ile dış ortam arasında iklime ve konfor koşullarına uygun ısıl denge, aydınlatma ve havalandırmayı sağlayan cephelerde yoğun kullanılmaktadır. Bina cephelerinde kullanılan saydam yüzeylerde ısı geçirgenliği daha kolay olduğundan dolayı enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Binalarda enerji verimliliğini sağlamak için teknolojinin getirdiği yeniliklerden de faydalanarak farklı özelliklere sahip cephe sistemleri geliştirilmektedir. Çift kabuk cephe sistemi, teknolojinin sunduğu yeniliklerle geliştirilen bir cephe sistemidir. Bu cephe sistemleri, kabuklar arasındaki havalandırma boşluğuyla iklim koşullarına uygun iç ortamın ısı ve görsel konforunu sağlamaktadır.

Dünya’da faaliyet gösteren tüm sektörler her süreçlerinde enerji kullanmaktadır. Artan nüfusun konut ihtiyacını ve konfor taleplerini karşılamak üzere bina sektöründe yoğun enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dünya’da enerji tüketiminin sektörel dağılımında sanayi ve ulaşım sektöründen sonra üçüncü sırada bina sektörü gelmektedir [Ulukavak Harputlugil, 2016]. Türkiye ‘de ise 2018 yılı itibariyle %36.28 oranında sanayi sektörü, %34.51 oranında çevrim ve enerji sektörü, %33.07 oranıyla da bina sektörü takip etmektedir [Web 4, 2021]. Bina sektöründe enerji tüketimi planlama, tasarım, inşa, kullanım ve yıkım süreçlerinin her aşamasında yoğun kullanılmaktadır. Binalarda, konfor koşullarından ödün vermeksizin yenilenemez enerji tüketimini minimum seviyede tutarak doğal kaynakların kullanılması enerjinin etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Enerji etkin tasarım parametrelerinin kararları yeni binaların tasarım aşamasında alınmaktadır. Tasarım sürecinde alınan kararlar yapım, kullanım ve yıkım süreçlerindeki enerji performansını belirlemektedir [Ulukavak Harputlugil, 2016]. Ayrıca mevcut yapılarda enerji etkinliğinin sağlanması enerji tüketim yoğunluğu fazla olan sistemlerin yeniden değerlendirilerek iyileştirme çalışmalarının yapılması etkili bir yöntemdir [Göksal Özbalta ve Yıldız, 2019].

Enerji etkin yapı; tasarım aşamasında alınan kararlarla yenilenemez enerji kaynaklarını minimum düzeyde kullanan, ihtiyacı olan enerjiyi doğal kaynaklarla ve

pasif enerji sistemleriyle sağlayan, çevreye saldığı salınım gazlarını minimum düzeyde tutan olarak tanımlanmalıdır [Ulukavak Harputlugil, 2016]. Yeni yapılarda enerji etkin performansın sağlanması için;

- Kullanılan malzeme, sistem ve bileşenlerin üretimlerinde,
- Tasarım, inşa, kullanım ve yıkım aşamalarında,
- Yapı elektromekanik sistemlerinin tasarlanması ve işletilmesinde,
- Yapıların ömrünü tamamladığında yıkım sonrasında açığa çıkan malzemelerin yeniden kullanımını sağlayacak düzeyde enerji tktiminin minimum seviyede olması hedeflenmektedir [Utkutug, 2000].

Binalarda doğal kaynakların ve pasif enerji sistemlerin kullanımına ait kararlar, binanın bulunduğu iklim koşullarında kullanıcının konforu göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Bu doğrultuda tasarım aşamasında verilen kararlar binaların kullanımı sürecinde enerji tktim oranını ve maliyetini ciddi oranda düşürmektedir.

Bir binanın yapım aşamasında kullandığı enerjinin yaklaşık %10-20 oranını bina kabuğunda kullanmaktadır [Lakot, 2007]. Bina kabuğu yalnızca yapıyı saran bir örtü olmanın yanı sıra binanın bulunduğu iklim ve evre koşullarına göre kullanıcının konforu düşünülerek i ortamın ısı, havalandırma ve aydınlatma kontrolünü sağlayan sistemidir.

Bina kabuğu saydam ve opak yüzeylerden oluşmaktadır. Saydam yüzeylerde, opak yüzeylere göre ısı geçişleri daha kolay olmaktadır. Dolayısıyla bu yüzeylerde enerji kayıpları daha çok olmaktadır. Tasarım aşamasında cephelerden kaynaklı ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma enerji tktiminde artışa neden olmayacak sistem kararlarının verilmesi gerekmektedir. Mevcut binalarda ise enerji tktimine neden olan sistemlerin tespiti yapılarak cephe iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bina cephelerinin tasarım sürecinde alınan kararlarla veya iyileştirme çalışmalarıyla sağlanan enerji etkinliği;

- Doğru malzeme ve yöntemle ısı ve ses yalıtımı yaparak,
- Dış ortam koşullarına göre optik özelliklerini değiştirebilen akıllı camlar kullanarak,

- Isı korunumunu sağlamak üzere cam tabakalarının arası hava, argon, kripton gibi gazlarla doldurarak,
- Saydam yüzeylerin iklim verilerine uygun ısı, ışık, güneş kontrolünü sağlayacak özelliğe sahip cam türleri ve gölgeleme araçları kullanarak,
- Cephedeki opak malzemelerin optik ve termofiziksel özelliklerinin iklim verilerine uygunluğu sağlanarak,
- Hava kanallarıyla tampon bölgeler oluşturarak ısı korunumunu veya doğal havalandırmayı sağlanarak,
- Binalarda doğal kaynak tüketimini sağlamak için cephelerde kullanılan fotovoltaik panellerle enerji ihtiyacı karşılanarak sağlanmaktadır [Utkutuğ, 2000].

Geçmişten günümüze kadar ki süreçte yaşanan enerji sorunlarının mimariye yansması sonucu teknolojinin de gelişmesiyle üstün özelliklere sahip enerji etkin cephe sistemleri gelişmektedir. Bina kabuklarının enerji etkin tasarımında çift kabuk cephe sistemleri ön plana çıkmaktadır. Çift kabuk cephe sistemlerinin sahip olduğu tasarım parametreleri binalarda kışın ısı kaybını, yazın ise güneş ısı kazançlarını kontrol altına almaktadır. Bina cephelerinde kullanılan çeşitli güneş kontrol elemanları, camların optik ve termofiziksel özellikleri, kabuklar üzerinde bulunan menfezler ve havalandırma boşlukları ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji tüketimini azaltmada etkin rol oynamaktadır.

2.1. Enerji Etkin Çift Kabuk Cephe Sistemleri

Dış ortam hava koşullarına doğrudan maruz kalan, iç ve dış ortam arasında ısı, ışık, ses ve havalandırma kontrolünü sağlayarak iç ortam konforunu sağlayan bina cepheleridir. Cepheler ısı kaçışlarının ve kontrollerinin yapıldığı kabuk bileşeni olması bakımından enerji etkin tasarım parametrelerine göre tasarlanması önemli olmaktadır. Bina cephelerinde enerji etkinliğini sağlamaya yönelik;

- Gün ışığının kullanmak,
- Güneş ısısından faydalanmak,
- Doğal havalandırmadan faydalanmak,

- Neme ve yoğuşmaya karşı önlem almak,
- Isı korunumu ve kontrolü sağlamak,
- Kamaşmayı engellemek için gölgeleme araçlarını kullanmak,
- Fotovoltaik Sistemler kullanmak,
- Cephede kullanılan saydam ve opak bileşen malzemelerin optik ve termofiziksel özelliklerini verilerine göre değerlendirmek

yaklaşım olarak ele alınmaktadır.

Enerji etkin cephe tasarımı uygulama olarak çift kabuk cephe sistemleri tercih edilmektedir. Bu cephe sistemi sahip olduğu tasarım parametreleri sayesinde ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma enerji kullanımlarını azaltan, çift cam kabukları arasındaki havalandırma boşluğuyla iç ve dış ortam arasındaki ısı korunumunu ve doğal havalandırmayla iç ortamın konforunu sağlayan bina kabuk sistemidir [Pomponi et al., 2016].

Yeni binalarda enerji etkin çift kabuk cephe sistemleri tasarım parametrelerine uygun olarak tasarlanabilmektedir. Mevcut binalarda enerji etkin çift kabuk cephe sistemi, taşıyıcı sisteme müdahale olmaksızın cephenin tamamının değiştirilebileceği gibi mevcut cephenin önüne ikinci cam cephenin eklenmesiyle oluşmaktadır. Böylece iki cam kabuk arasında havalandırma boşluğu oluşturularak iklim koşullarına uygun iç ve dış ortam arasındaki ısı, aydınlatma, güneş kontrolü ve havalandırma gibi konfor koşullarının oluşmasına yardımcı olmaktadır.

2.2. Çift Kabuk Cephe Sisteminin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

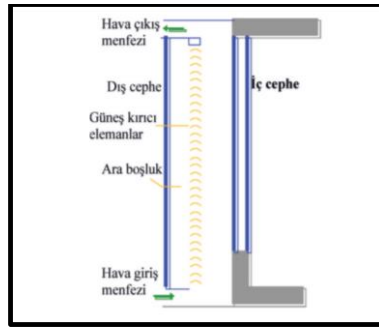
Ulusal ve uluslararası makale, yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarından, kitap çalışmalarından yapılan araştırmalarda çift kabuk cephe sistemi;

- Çetiner [2002]' e göre, iklim koşulları göz önüne alınarak kullanıcının konfor ihtiyacını karşılamak için iç ve dış ortam arasında dengeyi sağlama gereksiniminden dolayı tasarlanmış cephe sistemidir.
- Casini [2016] 'ye göre, çift cidarlı cam sistemi, iç konfor koşullarını elde etmek için ısı akışlarını dinamik olarak yöneten ve iç duvarı korumak üzere ikincil bir işleve sahip seçici bir zarf olarak tasarlanmış sistemdir.

•Norouzi ve Motalebzade [2018] 'e göre, çift cidarlı cephe teknolojisi, binalarda ısı yükünü sağlamak ve ısı enerji kaybını önlemek için güneş enerjisinden maksimum kullanımın sağlayan pasif sistemlerin en gelişmiş sistemidir. Çift kabuk cepheler yalnızca ısı enerji tüketimini azaltmak ve güneş enerjisi kullanımının verimliliğini arttırmakla kalmayıp ses yalıtımını, hava kirliliğine karşı yüksek koruma sağladığını ifade etmektedir.

Kısaca, iki kabuk arasında belirli ölçülerde boşluk bırakılarak oluşturulan, teknolojiyle üstün özellikler kazandırılmış bir cephe sistemidir. Kabuklar arasında oluşturulan havalandırma boşluğu bu cephe sistemi için önemli bir bölgedir. Yaz döneminde dış kabukta bulunan menfezler sayesinde havalandırma boşluğuna alınan hava, iç ortamda sirkülasyon oluşturarak doğal hava akışı sağlamaktadır ve soğutma enerji yükünü azaltmaktadır. Ayrıca bu boşluğa güneş kontrol elemanları yerleştirilerek iç ortamın aşırı ısınması engellenmektedir. Kış döneminde ise dış kabuktaki menfezler kapatılarak iç ortamın ısı dengesi korunmaktadır.

Şekil 2.1’de çift kabuk sistemi ve bileşenlerin sistematik kesiti gösterilmektedir [İnan ve Başaran, 2015].



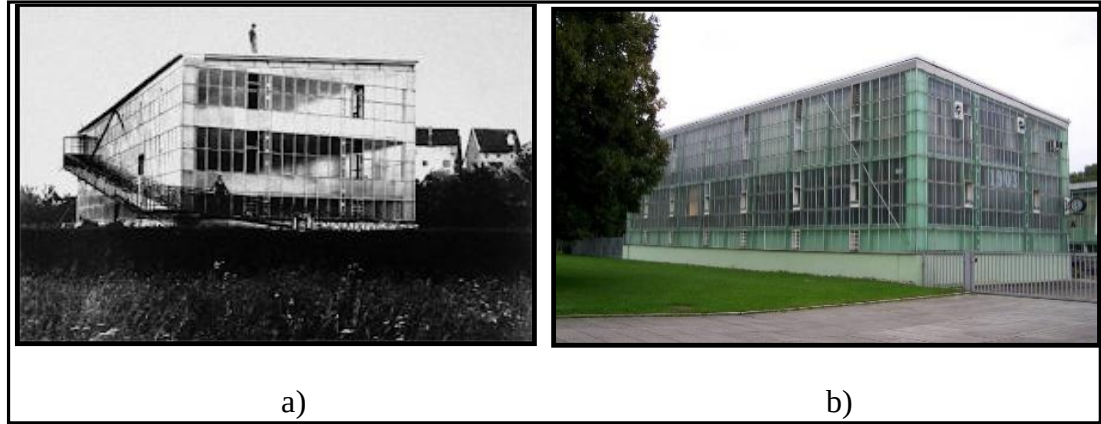
Şekil 2.1: Çift kabuk cephe sistem bileşenleri.

Çift kabuk cephe sistemini oluşturan kabuklar tamamen saydam olabileceği gibi dış katman saydam iç katman saydam veya opak malzemeden de olmaktadır.

Çift kabuk cephe sistemi, tarihte ilk olarak 1903 tarihinde Almanya’nın Giengen kentindeki Steiff Oyuncak Fabrikası’nın cephesine uygulanmaktadır. Bölgenin soğuk iklim koşullarına, rüzgârına dayanım sağlayacak, doğal aydınlatmadan maksimum düzeyde faydalanan bir cephe arayışına gidilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Yapı kabuğunu oluşturan malzemeler, cephede kullanılan

elik kafeslere 25 cm havalandırma boşluğu bırakılarak çift kabuk sistemini oluşturmaktadır [etintaş, 2004].

Steiff Oyuncak Fabrikası'nın geçmişteki durumu ve günümüzdeki mevcut durumu şekil 2.2'de gösterilmektedir [Web 5, 2011].



şekil 2.2: a) Steiff oyuncak fabrikasına ait eski fotoğraf, b) Günümüze ait fotoğraf.

1903 tarihinde Viyana'daki Post Bank projesini kazanan Otto Wagner, binanın ana holü üzerindeki çatı ışıklığının strüktürünü oluşturan elik makasların alt ve st kısımlarına cam malzemeleri alüminyum panellere oturtarak çift kabuk sistemi oluşturulmaktadır. İ ortamın çatıdan kaynaklanan ısı kayıplarını en aza indirmek için bu uygulamaya başvurulmaktadır [Alakavuk, 2010].

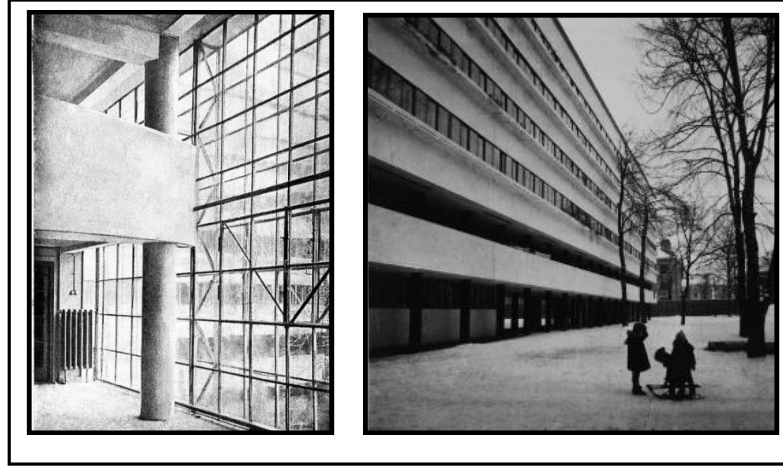
şekil 2.3'te binaya ait ana holün üzerini örten çatı strüktürü çift kabuk cam sistemiyle oluşturulmaktadır [Web 6, 2015].



şekil 2.3: Post Office Savings Bank binası.

1928 tarihinde Moisei Ginzburg tarafından Rusya'da toplu konut projesi olarak tasarlanan Narkomfin binasının cephesindeki yatay pencerelerde çift kabuk cephe sistemi kullanılmaktadır. Bu cephe sisteminin kullanılmasındaki neden Moskova'nın

soğuk hava koşullarında pencerelerden kaynaklanan ısı kayıplarını en aza indirmektir. Şekil 2.4'te gösterilen yapı günümüzde halen varlığını sürdürmektedir [Web 7, 2021].



Şekil 2.4: Narkomfin binası (1928-1932).

1929 tarihinde Le Corbusier, Moskova'daki Centrosoyus binasının güneye bakan yatakhane bölümünde ısı kaybını önlemek için çift kabuk cephe sistemi kullanmaktadır [Solla, 2012]. Şekil 2.5'te gösterildiği üzere çalışmalarda kullanılan çift kabuk cephe sisteminin ortak amacı soğuk iklim bölgelerinde ısı kayıplarını önlemektir.



Şekil 2.5: Centrosoyus binası (1929-1936).

Çift kabuk cephe sistemi, 1970' li yılların sonuna kadar yaygın bir kullanım alanı bulamamaktadır. Ancak yaşanan ekonomi krizi, tüm sektörleri enerjide etkin kullanıma yoğunlaştırmaktadır. Bina sektöründe enerji ihtiyacının fosil kaynaklar yerine doğal kaynaklardan karşılandığı, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve

havalandırmada aktif sistemlerin yerine pasif sistemlerin kullanıldığı çift kabuk cephe sistemleri yaygınlık kazanmaktadır.

1980’li yıllarda Avrupa ve Amerika’da, binalarda enerji tüketiminden tasarruf sağlanması için devletin destek vermesi çift kabuk cephe kullanımında artışa sebep olmaktadır. 1990’lı yıllarda Avrupa’nın bazı ülkeleri enerji tüketimine yönetmeliklerle sınırlama getirmesinden dolayı yüksek binaların cephelerinde çift kabuk sistemi kullanılmasını teşvik etmektedir. Bu tarihlerde yapılan yüksek yapıları binaların cephe tasarımında çift kabuk cephe sistemi görülmektedir. 2000’li yıllara gelindiğinde ise durum değişmemiş ve çift kabuk sisteminin sağladığı avantajlar sayesinde kullanımına zorunluluk getirilmiştir [Çetintaş, 2004].

İnan ve Başaran [2014]’ın yaptığı çalışmada ifade edilen çift kabuk cephe sisteminin avantajları;

- Doğal havalandırmaya olanak vermektedir,
- Saydamlık oranının fazla olmasından dolayı binanın çevresiyle etkileşim sağlamaktadır,
- Isı ve ses yalıtımına katkı sağlamaktadır,
- Isı iletim katsayısını ve güneş ısı kazanç katsayısını düşürerek enerji korunumu sağlamaktadır,
- Hava kanalına güneş kontrol elemanlarının yerleştirilmesiyle hem gün ışığı kontrolü yapmaktadır hem de bulunduğu konum itibarıyla hava koşullarına karşı korumaktadır,
- Dış cephede bulunan menfezler sayesinde havalandırma boşluğuna alınan hava sayesinde iç ortamda doğal havalandırma sağlamaktadır,
- Binayı rüzgâr hızlarından ve hava koşullarından korumaktadır,
- Enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Dezavantajları;

- Hava kanalında aşırı ısınma problemlerinin olmaktadır,
- İç ortama giren gün ışığı miktarını azaltmaktadır,
- Temizlik, bakım, onarım gibi işlemler zahmetli ve masraflı olmaktadır,
- Yangın dayanımına karşı dirençsiz olmaktadır,

- Katlar arası ve dış ortam ile iç ortam arası akustik sorunları yaşanmaktadır,
- İç ortam alanını daraltmaktadır.

2.2.1. Çift Kabuk Cephe Sisteminin Çalışma Prensibi

Çift kabuk cephe sistemi morfolojik olarak dış kabuk, havalandırma boşluğu (tampon bölge) ve iç kabuk olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

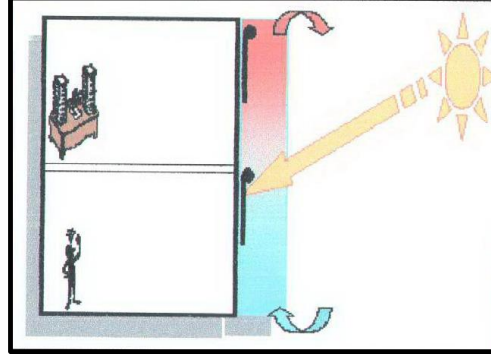
Dış kabuk, çift kabuk cephe sisteminde dış ortama doğrudan maruz kalan sistem elemanıdır. Binayı dıştan örtü gibi sararak hava şartlarından (yağmur, kar, rüzgâr vb.) ve çevresel etkilerden (ses, toz vb.) korumaktadır. Kabuğun tamamı genellikle saydam elemanlardan oluşmaktadır. Ayrıca bu kabukta kullanılan elektromanyetik filtreleme sistemleri hastane ve ileri teknolojiye sahip ofis binalarında elektromanyetik kalkan oluşturmaktadır. Bu tip özelliklerin sisteme dâhil edilmesi dış kabuk tipolojisinde farklılaşmaya sebep olmaktadır [Tibet, 2004].

Dış kabuk üzerinde iç ortama doğal hava giriş ve çıkışını sağlayan, mevsimsel, gece-gündüz iklimsel konfor koşullarını sağlayacak şekilde açık ve kapalı konumda ayarlanabilen menfezler bulunmaktadır. Rüzgârın, havalandırma boşluğuna alınarak iç ortamda doğal havalandırmanın sağlanması menfezler aralığıyla olmaktadır. Rüzgârdan maksimum seviyede faydalanmak için menfezler hâkim rüzgâr yönünde, boyutlarının doğru ölçülerde ve havalandırma boşluğunun ideal genişlikte olması gerekmektedir.

Dış kabuk, iç ortama ulaşan sesin kontrolünü sağlayarak ses yalıtımı da sağlamaktadır. Ses yalıtımında etkin performans sağlanması için dış kabuktaki menfezlerin kat hizalarında olması gerekmektedir. Ayrıca sesin havalandırma boşluğunda yayılmasını önlemek için boşluğun yatay ve dikey bölmelerle bölünmesi, iç kabuktaki pencere kanatlarının iç mekâna açılır durumda olması gerekmektedir [Çetintaş, 2004].

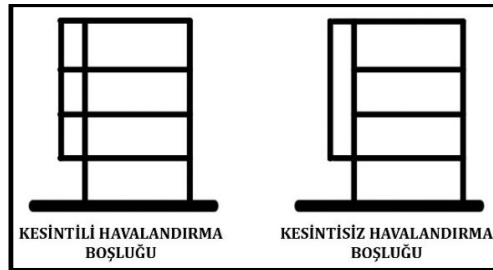
Havalandırma Boşluğu, dış ve iç katman arasında bulunan bölgeye havalandırma boşluğu veya tampon bölge denilmektedir. Bu bölgeye dış kabukta bulunan menfezler aracılığıyla doğal hava girişi ve çıkışı sağlanmaktadır. Şekil 2.6'da [Bartak et al., 2001] gösterildiği üzere doğal hava dış kabuğun alt kısmında bulunan menfez aracılığıyla alınır. Alınan hava ısınarak yukarıya doğru düz

doğrultuda yükselmektedir. Isınan hava, dış kabuğun üst kısmında bulunan menfezlerden dışarıya doğru baca etkisiyle atılmaktadır.



Şekil 2.6: Çift kabuk cephe sisteminin çalışma prensibi.

Havalandırma boşluğu, Şekil 2.7’de ifade edildiği üzere yapı tipine göre kesintili havalandırma boşluğu ve kesintisiz havalandırma boşluğu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kesintili havalandırma boşluğu kat düzleminde yatay ve düşey zonlara ayrılmaktadır. Yatay ve düşey ayrımlar döşeme, duvar, cam paneller gibi farklı tasarım bileşenleri veya malzemelerle yapılmaktadır. Bu sistemde havalandırma boşluğuna alınan ve boşluktan dışarıya verilen doğal hava kat düzleminde olmaktadır. Kısaca iç ortama alınan doğal hava tamamen cephe doğrultusunda ilerlememektedir. Kesintili havalandırma boşluğu, katlar arasında sesin yayılmasını önlemektedir ve yangın olaylarında denetim kontrolünü sağlamaktadır. Kesintisiz havalandırma boşluğu ise dışarıdan alınan havanın cephe boyunca düz doğrultuda taşınarak üst menfezden dışarıya atılmasını sağlamaktadır. Yalnız bu sistem iç ve dış ortamdan ara boşluğa yayılan sesin, yangın olaylarında meydana gelen sis ve dumanın iç ortamdaki diğer mekânlara yayılmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.7: Bina tipine göre havalandırma boşluk çeşidi.¹

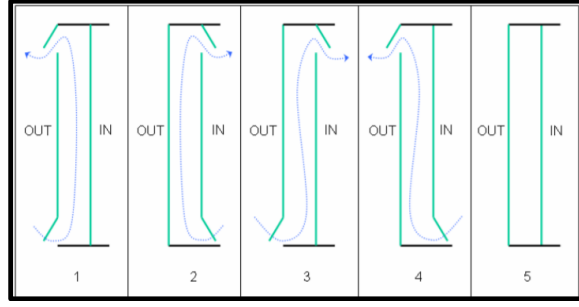
¹ Şekil 2.7, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından hazırlanmıştır.

Binanın havalandırılma şekli enerji tüketiminde belirleyici bir etken olmaktadır. Binalarda havalandırma; doğal havalandırma, mekanik havalandırma ve hibrit (karma) havalandırma olmak üzere üç kullanım türüne ayrılmaktadır.

İç ortamın doğal yolla havalandırılması, dış kabuğun alt kısmındaki menfezlerden giren rüzgârın ısınarak yükselmesi sonucu oluşturduğu basınç farkıyla dış kabuğun üst kısımlarında bulunan menfezlerden dış ortama atılmasıyla olmaktadır. Yaz aylarında doğal havalandırmanın sağlanması soğutma enerjisi yükünde azaltmaktadır. Doğal havalandırmadan etkin bir şekilde faydalanmak için menfezlerin hâkim rüzgâr yönünde olması, rüzgârın ara boşluğu havalandıracak hıza ulaştığında menfez kapaklarını açılabilmesi, rüzgarın çok hızlı olduğunda ise kapalı olması, menfez boyutlarının olması gereken ölçülerde olması, havalandırma boşluğunun çok uzun olmaması gerekmektedir. Doğal hava, havalandırma boşluğunda ilerlerken temas ettiği yüzeylerin ısınıp düşürerek sıcaklık farklarının oluşmasını engellemektedir. Ayrıca havalandırma boşluğunda bulunan sistemlerin yüzeylerinde girinti ve çıkıntı olmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü bu bölgedeki hava sirkülasyonu yüzeylerde sıcak hava birikintisine neden olur ve sıcaklık farklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum ise enerji performansını olumsuz etkilemektedir. Kış aylarında dış kabukta bulunan menfezler kapalı tutularak havalandırma boşluğundaki havanın bir döngü halinde sirkülasyonu sağlanmaktadır. Dolayısıyla, ısınan hava iç kabuğun dış yüzeyinin soğumasına fırsat vermeden sürekli ısıtmaktadır. Diğer bir yöntemle iç kabuktaki pencerelerin açılarak iç ortamın sıcaklığı havalandırma boşluğuna verilmektedir. Dolayısıyla iç kabuk yüzeylerinde sıcaklık farkı oluşmamaktadır ve ısıtma enerji yükünde tasarruf sağlanmaktadır.

Mekanik havalandırma sisteminde iç ortama alınan hava, mekanik sistem vasıtasıyla dış ortama geri verilmektedir. Hava sirkülasyonunun taşınma hızını da ayarlamaktadır. Ayrıca tasarım aşamasında tesisat malzemelerinin koyulduğu yerin de düşünülmesi gerekmektedir. Bu sistem enerji kullanımına sebep olduğundan dolayı enerji verimliliği açısından çok tercih edilmemektedir. Diğer bir sistem ise hibrit (karma) yani hem doğal hem de mekanik havalandırmanın bir arada kullanıldığı sistemdir. Bu sistemde ana kullanım doğal havalandırma olup hava sirkülasyonu sırasında bir aksilik olması durumunda mekanik sistem devreye girmektedir [Çetintaş, 2004].

İki cephe arasındaki boşluğun havalandırılması Şekil 2.8’de gösterildiği üzere farklı tasarım kararlarına göre çeşitlenmektedir. Bunlar [Web 8, 2004];



Şekil 2.8: Hava boşluğundaki hava sirkülasyon çeşitleri.

- 1. durumdaki sistem çeşidinde, dış kabuğun alt kısımlarında bulunan menfezlerden havalandırma boşluğuna alınan doğal hava, ısınarak yükselmektedir ve dış kabuğun üst kısımlarında bulunan menfezlerden dış ortama geçmektedir. Havalandırma boşluğunda bulunan doğal hava iç ortama alınmamaktadır. Ancak boşlukta sirkülasyonu sağlanan doğal havanın iç kabuğa temas etmesi sonucu yüzeyin sıcaklık değerini düşürmesi sonucu iç ortamın sıcaklık değerini de düşürmektedir. Bu durum yaz mevsiminde soğutma enerji tüketimini azaltmaktadır.
- 2. durumdaki sistem çeşidinde, kış mevsiminde dış kabuğun menfezleri kapalı tutularak iç kabuğun alt kısmında bulunan menfezlerden havalandırma boşluğuna geçiş yapan doğal hava ısınarak yükselmektedir. Bu esnada ısınarak yükselen hava yüzeylerin ısınmasına neden olmaktadır.
- 3. durumdaki sistem çeşidinde, dış kabuğun alt menfezlerinden havalandırma boşluğuna alınan doğal hava ısınarak yükselmektedir ve iç kabuğun üst menfezlerinde iç ortama alınarak iç ortamın sıcaklığı arttırmaktadır. Dolayısıyla bu durumu kış aylarında ısıtma yükünü azaltmaktadır.
- 4. durumdaki sistem çeşidinde, iç ortamın doğal havalandırılması için tasarlanan bu cephe tipolojisinde iç ortamdaki havanın iç kabuktaki alt menfezlerden havalandırma boşluğuna geçmektedir ve ısınarak yükselen hava dış kabuğun üst menfezlerinden dışarıya atılmaktadır.
- 5. durumdaki sistem çeşidinde, iç ve dış ortam arasında ısı geçişlerinin olmadığı havalandırma boşluğundaki havanın döngü halinde sirkülasyonun sağlandığı bir çeşit doğal havalandırma sistem tipolojisidir.

Havalandırma boşluğunda ısı ve görsel konforu sağlayacak gölgelendirme elemanları kullanılmaktadır. Bu elemanlar jaluzi veya panjur olup bu bölgede

bulunmasından dolayı hava şartlarından korunmaktadır ve kullanım ömürleri uzun olmaktadır. Konfor açısından etkin olabilmesi için hareket açısı, hareketli veya sabit olması, cephelere uzaklığı, malzemesi önemli bir etkindir.

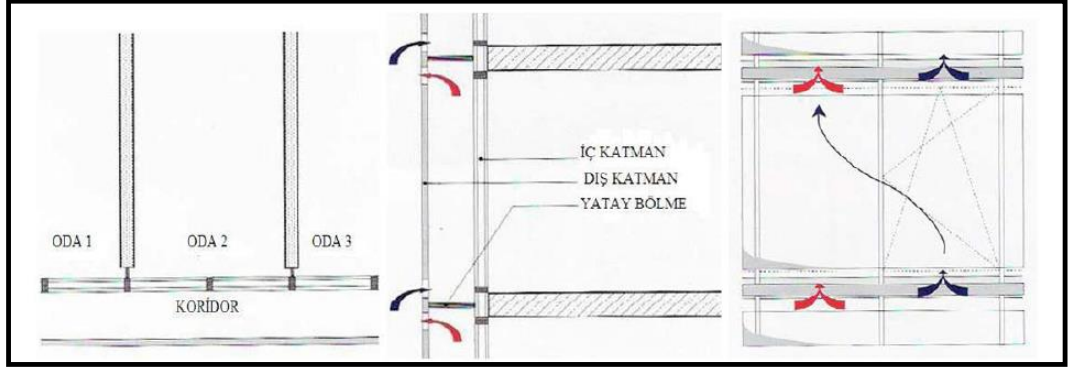
İç kabuk, iç ortamı havalandırma boşluğundan ayıran duvar, pencere veya tamamı cam malzemeden oluşan çift kabuk cepheye ait kabuk sistemidir. Dış ortamdaki havalandırma sağlanıyorsa iç kabukta kullanılan malzemelerin ısı direnci yüksektir. Eğer ki havalandırma iç ortamdan sağlanıyorsa dış kabuktaki malzemelerin ısı direnci yüksektir [Tibet, 2004].

Çift kabuk cephe sistemi, havalandırma boşluğunun tasarım şekline göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar [Lakot, 2007].;

- Kutu Pencere Tipi Çift Kabuk Cephe Sistemi,
- Kat Yüksekliğinde Çift Kabuk Cephe Sistemi,
- Bina Yüksekliğinde Çift Kabuk Cephe Sistemi,
- Şaft Yüksekliğinde Çift Kabuk Cephe Sistemi.

Bu çalışmada kat yüksekliğinde çift kabuk cephe sistemi kullanılmıştır.

Kat yüksekliğinde çift kabuk cephe, kabuklar arasındaki havalandırma boşluğunun her kat boyunca yatay olarak bölünmesi sonucu oluşan bir sistem tasarımıdır. İki kabuk arasındaki havalandırma boşluğu 20-150 cm mesafede olmaktadır. Çift kabuk cephe sisteminin en çok kullanılan çeşididir. Şekil 2.9'da görüldüğü üzere her katta ayrı olarak dış kabuğun alt ve üst kısımlarında bulunan menfezlerden hava giriş ve çıkışı olmaktadır. Böylece her kat kendi içinde havalandırılmaktadır, ses ve yangına karşı yalıtım sağlamaktadır. Ancak ses aynı katta bulunan mekânlarda kolay yayıldığından dolayı bir durum oluşturmaktadır [Kıasf, 2015].



Şekil 2.9: Kat yüksekliğinde çift kabuk cephe sistemi (Plan- Kesit- Görünüş).

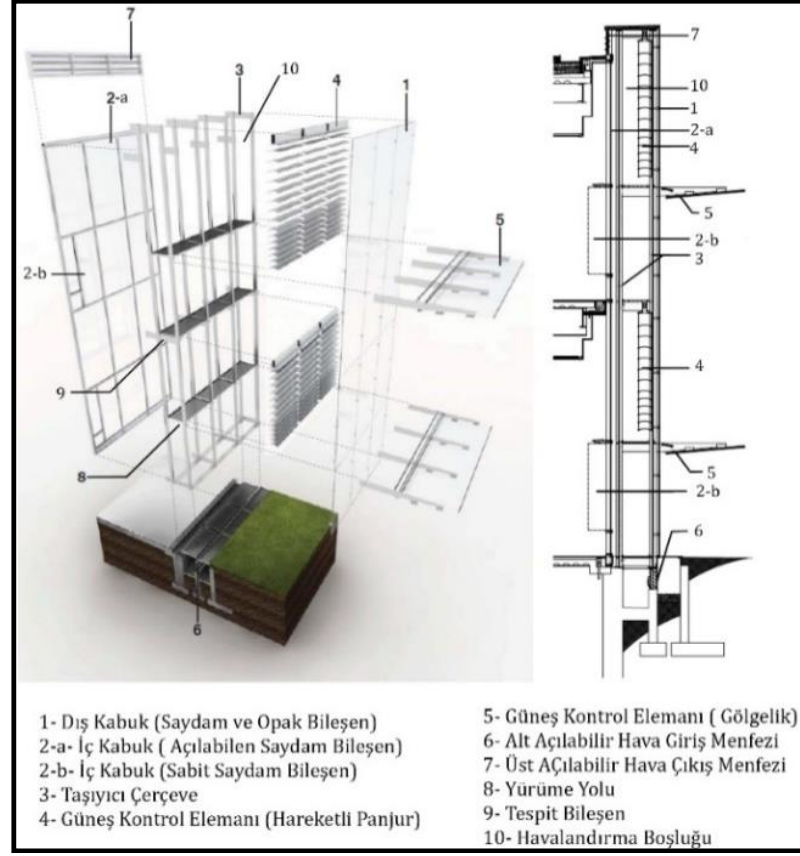
2.2.2. Çift Kabuk Cephe Sistem Bileşenleri

Çift kabuk cephe sistemleri morfolojik olarak;

- Kabuk Bileşenler (Saydam ve Opak Malzeme)
- Taşıyıcı ve Tespit Bileşenler,
- Havalandırma Boşluğu,
- Güneş Kontrol Elemanları,
- Yürüme Yolundan

oluşmaktadır.

Şekil 2.10'da [Rawn, 2009] çift kabuk cepheye ait bileşenler perspektif ve kesit olarak incelenmektedir.



Şekil 2.10: Çift kabuk cephe sistem bileşenlerinin perspektifi ve kesiti.

2.2.2.1. Saydam ve Opak Bileşenler

Çift kabuk cephe sisteminde iç ve dış kabuğu oluşturan bileşenlerdir. Kabuklar tamamen saydam bileşenlerden olabileceği gibi saydam ve opak bileşenler birlikte de kullanılabilir. Cephede kullanılan saydam bileşenlerin ısı geçirgenliği diğer bileşenlere göre daha yüksek olması binanın enerji performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple cephede kullanılan saydam bileşenler binanın bulunduğu iklim koşullarına uygun optik ve termofiziksel özelliklerde seçilmelidir. Saydam bileşenler sahip oldukları katman sayısına göre tek, çift ve üç katmanlı olarak cephede kullanılmaktadır. Cam türlerinin sahip olduğu özellikler;

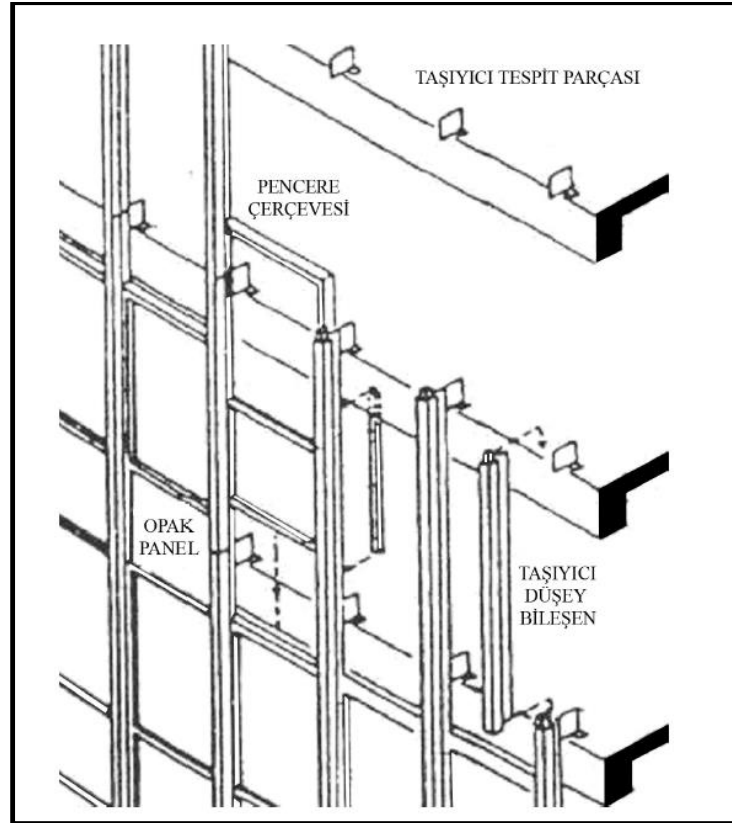
- Camın cinsi,
- Camın kalınlığı,
- Camın rengi,
- Cam katmanları arasındaki mesafe,
- Tek, çift veya üç katmanlı olması,

- Camın katmanları arasında kullanılan gazın cinsidir.

Opak bileşenler de saydam bileşenler gibi iklim koşullarına uygun termofiziksel özelliklerde seçilmelidir. Ayrıca opak bileşenler; saydam bileşenlerin çerçeve sistemlerini oluşturmaktadır ve binada görülmesi istenilmeyen taşıyıcı elemanların, döşemelerin, tesisat malzemelerinin saklanması için de kullanılan geçirgen olmayan bir yüzey bileşenidir.

2.2.2.2. Taşıyıcı ve Tespit Bileşenler

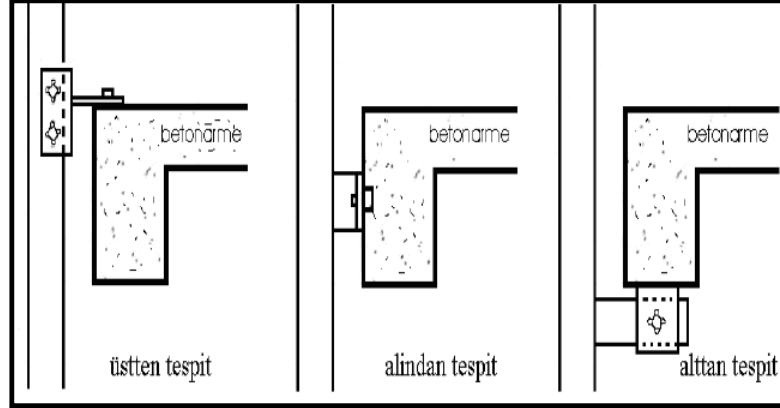
Taşıyıcı bileşenler, cephede bulunan saydam ve opak bileşenleri binadaki ana taşıyıcı sisteme taşımak için bileşenleri yatay ve düşey olarak çevreleyen ızgara şeklindeki profillerdir. Bu bileşenler, Şekil 2.11’de gösterildiği üzere saydam yüzeyler ile cephede bir bütünlük sağlanmaktadır [Ünal, 2006].



Şekil 2.11: Taşıyıcı ve tespit bileşenler.

Tespit bileşenler; iki bileşenleri bir arada tutmak, birbirlerine monte etmek, cephedeki saydam ve opak bileşenleri binada ana taşıyıcıya monte etmek için kullanılan çeşitli profillerdeki elemanlardır. Bunların başlıcaları; ankraj ve baskı profilleri, vida, cıvata, dübel, kenetler, macun vb. elemanlardır [Ünal, 2006].

Şekil 2.12’de tespit elemanlarının taşıyıcı strüktüre bağlanma konumları gösterilmektedir.



Şekil 2.12: Cephe paneli ve taşıyıcı strüktür arasındaki tespit yeri.

2.2.2.3. Havalandırma Boşluğu

Çift kabuk cephe sisteminde iç ve dış kabuk arasında 20-200 cm boşluk bırakılarak oluşturulan bölgeye denilmektedir. Bu boşluk mesafesi sistem özelliğine ve istenilen performans özelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu boşlukta hava sirkülasyonun sağlanmasının yanı sıra güneş kontrol elemanları ve yürüme yolu bileşenleri de bulunmaktadır. Havalandırma boşluğunun eni; havalandırma, sıcaklık ve yangın faktörünü önemli derecede etkileyen bir faktördür. Havalandırma boşluğunun eni daraldıkça basınç kayıpları meydana gelmektedir. Zöllner [2002] yaptığı çalışmada kat yüksekliğini (H) 4 m kabul ederek boşluğun genişliği (S) ile arasında ilişkiyi sağlamak üzere $3 < H/S < 15$ aralığında olan bir boyutsuz aralık belirlemektedir. Havalandırma boşluğunun uzunluğu fazla olduğunda havalandırma da baca etkisi kaybolmaktadır. Bu sebeple boşluğun yatay bölmelere ayrılması hem havalandırmanın etkinliğini sağlaması açısından hem de yangın faktöründe güvenliği sağlaması açısından önemli olmaktadır. Havalandırma boşluğunun çalışma prensibi ve çeşitleri “Çift Kabuk Cephe Sisteminin Çalışma Prensibi” başlığında detaylıca anlatılmıştır.

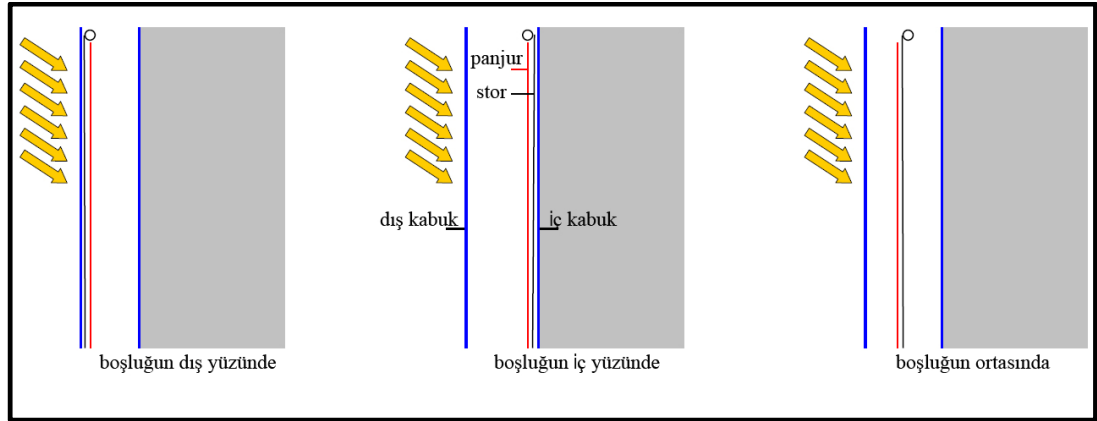
2.2.2.4. Güneş Kontrol Elemanları

Çift kabuk cephe sistem bileşeni olan güneş kontrol elemanları, yaz aylarında üzerlerine düşen güneş ışınlarını yansıtarak veya absorbe ederek soğutma yükünü azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Güneş Kontrol elemanları genel olarak jaluzi, panjur ve stor olmak üzere üç farklı çeşide sahiptir. Bunların çalışma mekanizmaları sabit, el ile ayarlanabilir ve bina otomasyonu ile ayarlanabilmektedir. Bulundukları konum itibarıyla havalandırma boşluğunun dış yüzeyinde, ortasında veya iç yüzeyinde bulunmaktadır.

Jaluziler, ahşap veya alüminyum malzemeden yapılmaktadır. Genellikle iç kabuktaki konumu performansını ve bakım- onarım işlerinin daha kolay olmasını sağlamaktadır [Özler, 2003]. Panjur, genellikle dış kabuğun kendisi olmaktadır. Stor ise genelde kumaş veya plastik esaslı malzemeden olup güneşin ışınlamalarının yoğun olduğu bölgelerde kullanılmaktadır.

Şekil 2.13’de konum itibarıyla bulundukları konumlar gösterilmiştir [Ünal, 2006].



Şekil 2.13: Güneş kontrol elemanlarının çift kabuk cephedeki konumları.

Haase’e, enerji etkinliği açısından güneş kontrol elemanları bulundukları konum itibarıyla dış kabuğa yakın veya ortada konumlandırılması iç ortama giren güneş ışınlamalarının kontrolünü daha etkin sağladığını ve iç ortamdaki ısı kazanımlarının da azaldığını vurgulamaktadır [Haase, 2008]. İç kabuğa yakın konumlandırılmış olması havalandırma boşluğundaki doğal havanın aşırı ısınmasına neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı dış kabuğa yakın konumlandırılması daha

etkin bir çözüm getirmektedir. Güneş kontrol elemanlarının rengi, cephedeki konumlandırılma açıları ve malzeme türleri de iç ortama giren güneş ısı ve ışınlımlarının kontrolünde etkili olmaktadır [İnan ve Başaran, 2013].

2.2.2.5. Yürüme Yolu

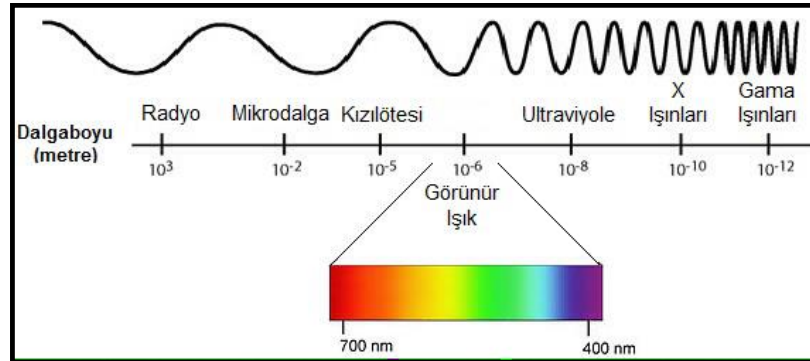
Havalandırma boşluğu içerisinde binanın taşıyıcı sistemine monte edilen çelik bantlardan veya kat döşemesinden oluşan, cephelerin ve güneş kontrol elemanlarının temizlik, onarım ve bakımını sağlayan bir bileşendir. Üzerinde yürüme imkânı sağlayan bu bileşenler hava sirkülasyonuna engel olmayacak şekilde genişliği, havalandırma boşluğunun genişliğiyle orantılı olarak tasarlanmalıdır [Ünal, 2006].

3. ÇİFT KABUK CEPHE SİSTEMLERİNDE CAM BİLEŞENLERİNİN ENERJİ ETKİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

Saydam yüzeyleri oluşturan cam bileşenler, dış etmenlere karşı binanın ısı, görsel, havalandırma ve aydınlatma gibi konfor koşullarını sağlarken enerji tüketiminde etkin performans sağlamalıdır. Cam bileşenlerin enerji etkin performans sağlayabilmesi için binanın bulunduğu iklim bölgesinin koşullarına uygun parametre değerlerine sahip olması gerekmektedir. Dış ortamdan saydam yüzeylere yansıyan güneş ısı ve ışınları, cam bileşenleri oluşturan cam malzemesinin ve cam tabaklar arasında bulunan gaz türünün sahip olduğu optik ve termofiziksel özellikler iklim koşullarına göre farklı değerlere sahip olmaktadır.

3.1. Güneş Spektrumu ve Güneş Işınımı

Güneş ışınımı, çevreye farklı dalga boylarıyla yayılmaktadır. Yayılan dalga boylarının sıralı görünümüne veya güneşten yayılan, bilinen çeşitli dalga boylarındaki elektromanyetik radyasyonun tamamına elektromanyetik güneş spektrumu denilmektedir [Web 9, 2021]. Güneş ışınımının sahip olduğu farklı dalga boyları ve bağlı enerji değişimleri Şekil 3.1'deki grafikte gösterilmiştir [Maçka, 2008].



Şekil 3.1: Güneş spektrum grafiği.

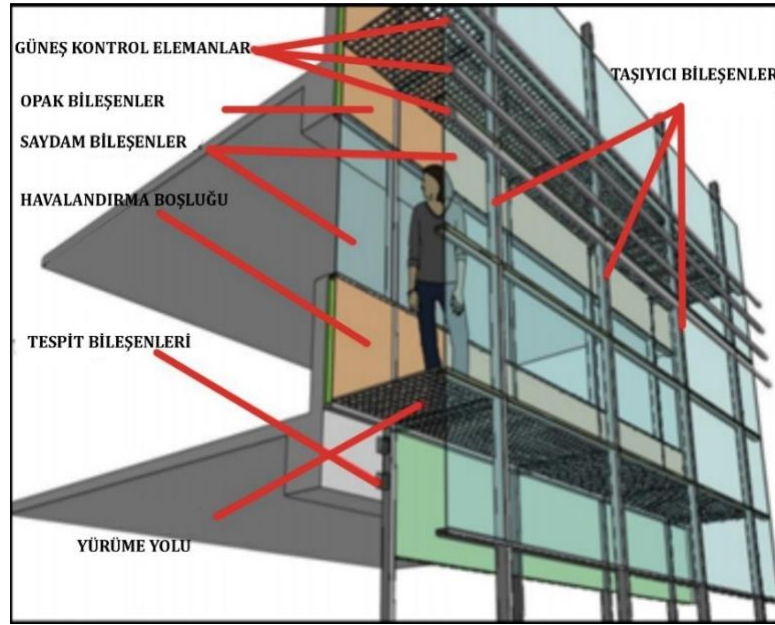
Dalga boyları sırasıyla; gama ışınları, X- ışınları, ultraviyole ışık, görünür (visible) ışık, kızıl ötesi (infrared) ışık ve radyo dalgalarından oluşmaktadır [Maçka, 2008].

- Ultraviole (UV) ışınım, güneş spektrumunda 0-380 nm dalga boyu aralığında olup bağıl enerjinin %3'üne sahiptir. Çıplak gözle görülmemektedir.
- Görünür (visible) ışınım, elektromanyetik güneş spektrumunda dar bir bölümde yer almasına rağmen güneş ışınımının toplam bağıl enerjisinin %53'üne sahiptir. Sahip olduğu 380-780 nm aralığındaki dalga boyu değerlerine insan gözünün renk pigmentleri duyarlı olduğundan dolayı çıplak gözle görülebilmektedir. Bu renkler menekşe, çivit, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı olup en kısa dalga boyu mor, en uzun dalga boyu ise kırmızı olarak algılanmaktadır.
- Kısa dalga kızılötesi (Infrared) ışınım, 780-2500 nm dalga boyu aralığında bulunmaktadır ve bağıl enerjinin %44'üne sahiptir. Isıl etkiye sahip kısa dalga boyundaki bir güneş ışınımıdır.
- Uzun dalga kızılötesi ışınım-IR, 3500 nm ve daha fazla dalga boyuna sahip bir güneş ışınımıdır. Bir yüzey tarafından absorbe edilen güneş ışınımı çevreye uzun dalga ışıması olarak yansımaktadır. Bu yayılım, yüzeyin optik özelliğine göre yayılmaktadır.

3.2. Cam Bileşenlerin Optik ve Termofiziksel Özellikleri

Bina kabuğu, kullanım alanlarını örten ve dış ortam koşullarına karşı kontrolü sağlayan bileşenlerden oluşmaktadır. Şekil 3.2'deki görselde ifade edildiği üzere bu bileşenler [Ölmez, 2013];

- Saydam (cam) bileşenler,
- Opak bileşenler,
- Tespit ve taşıyıcı bileşenler,
- Havalandırma boşluğu,
- Güneş kontrol elemanları,
- Yürüme yolu.



Şekil 3.2: Çift kabuk cephe sisteminin şematik kesiti.

Çift kabuk cephe sistemleri dışındaki cephe sistemlerinde havalandırma boşluğu ve yürüme yolu elemanları kullanılmamaktadır. Genel olarak tüm cephe sistemlerinin dış yüzeyini oluşturan bina kabuğunun görevleri;

- İklim koşullarını ve etkilerini kontrol ederek iç ortamın iklim konforunu sağlamak,
- Güneş ışınlarını iç ortama kontrollü bir şekilde alarak aydınlatma konforunu sağlamak,
- Gürültüye karşı yalıtım oluşturarak iç ortamdaki işitsel konforu sağlamaktır.

Saydam yüzeyleri oluşturan cam bileşenler binaların ısı kayıp ve kazançlarını, görsel konfor kontrolünü sağlayan en önemli bileşenlerden birisidir. Camlar, tek kabuklu cephelerde ve çift kabuk cephelerin her iki kabuk yüzeyinde tek, çift veya 3'lü katman olarak kullanılmaktadır. Günümüzde, gelişen teknoloji sayesinde istenilen koşullara uygun cam türlerinin optik ve termofiziksel özellikleri oluşturulmaktadır. Cam bileşenler, iç ortamın ısı konforunu sağlarken yalıtım görevini de üstlenmektedir. Cam bileşenlerde yalıtım özelliği çift veya 3'lü katmanlı camlar arasında kullanılan gazların sahip olduğu termofiziksel özelliklerle etkinlik kazanmaktadır. Kısaca, binalarda cam bileşenlerin enerji etkin performanslarının değerlendirilebilmesi için cam türlerinin optik ve termofiziksel özellikler, cam

katmanları arasında kullanılan gaz türlerinin termofiziksel özellikler önemli etmenlerdir. Ayrıca enerji etkinliği; iklimsel özelliklere, cephedeki saydamlık oranına, camın boyutuna, cam katmanları arasındaki boşluk genişliğine, camın kalınlığına ve yüksekliğine de bağlı olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında çift kabuk cephe sisteminin kabuk sistemlerini oluşturan cam bileşeninin optik ve termofiziksel özellikleri araştırılmıştır.

3.2.1. Camların Optik Özellikleri

Çift kabuk cephe sistemlerinde iç ve dış kabuğu oluşturan cam malzemeler dış ortam koşullarının etkisine maruz kalmaktadır. Camlar, yüzeylerine gelen güneş ışınımının bir kısmını geçirir, bir kısmını yansıtır, bir kısmını ise yüzeylerinde bulunan film veya kaplamalar aracılığıyla soğurur. Güneş ışınımı, bina kabuğundaki malzemelerin optik özelliklerine bağlı olarak güneş ısı kazancına dönüşmektedir [Kocaaslan, 1991]. Optik özellikleri ifade eden yansıtıcılık, geçirgenlik ve yutuculuk katsayılarının toplam değeri 1'e eşit olmalıdır [Maçka, 2008].

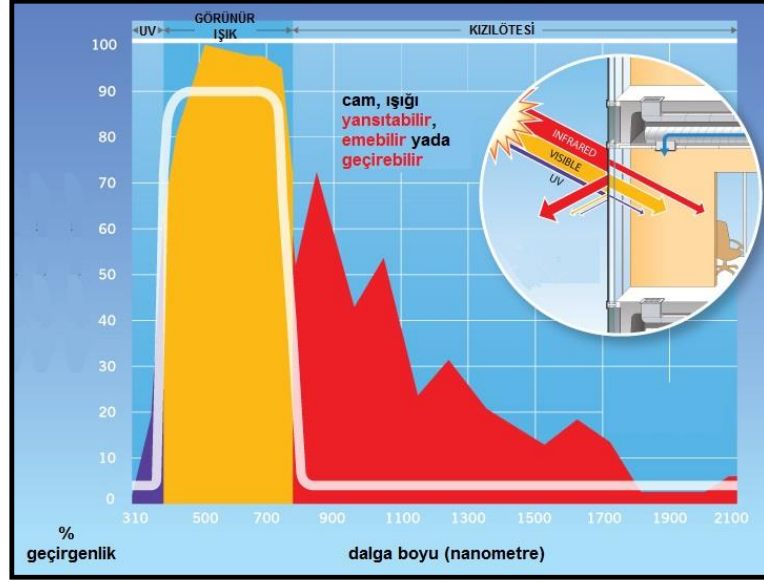
$$\bullet T + R + \alpha = 1$$

T: Gelen ışınımı geçirme katsayısı

R: Gelen ışınımı yansıtma katsayısı

α : Gelen ışınımı yutuculuk katsayısı

Şekil 3.3 'teki görselde ifade edildiği üzere cam yüzeylerine gelen görünür ışık, kızılötesi ve UV ışıkları farklı oranlarda iç ortama yansıtmakta, geçirilmekte ve absorbe edilmektedir [Web 10, 2021].



Şekil 3.3: Güneş spektrumu ve spektral seçicilik.

Camın geçirgenlik, yansıtıcılık ve yutuculuk katsayı değerlerini etkileyen faktörler;

- Kullanılan cam türünün kalınlık değeri ve fiziksel özellikleri (Kalınlık arttıkça geçirgenlik azalmaktadır.),
- Cam yüzeylerine uygulanan film veya kaplama malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri,
- Güneş ışınımının geliş açısı (Geliş açısı arttıkça geçirgenlik değeri azalırken, yansıma ve soğurma değeri artmaktadır).

Güneş ışınımına dair hesaplamalarda cam türünün 280-2500 nm aralığındaki yansıtıcılık, geçirgenlik ve yutuculuk katsayıları dikkate alınmalıdır.

- Güneş ışınımı geçirgenlik katsayısı (T_{sol})

280-2500 nm dalga boyu aralığındaki güneş ışınımının cam yüzeyler tarafından iç ortama geçirilen miktarının cam yüzeylere gelen toplam güneş ışınımına oranını ifade etmektedir.

- Güneş ışınımı yansıtma katsayısı (R_{sol})

280-2500 nm dalga boyu aralığındaki güneş ışınımının cam yüzeyler tarafından geri yansıtılan miktarının cam yüzeylere gelen toplam güneş ışınımına

oranını ifade etmektedir. Cam yüzeylerde yansıma içten dışa ve dıştan içe olmak üzere iki türde olmaktadır [Maçka, 2008].

- Güneş ışıını soğurma (absorbe) katsayısı (α_{sol})

280-2500 nm dalga boyu aralığındaki güneş ışıınımlarının cam yüzeyler tarafından soğurulan ya da absorbe edilen miktarın cam yüzeylere gelen toplam güneş ışıınına oranı ifade etmektedir. Cam yüzeyler tarafından absorbe edilen güneş ışıını ısı enerjisine dönüşmektedir. Cam malzemesi oluşturulurken kimyasal yapısında farklı elementlerin kullanılması farklı değerlerde absorbe katsayısı oluşturmaktadır [Maçka, 2008].

Gün ışığı hesaplamalarında cam türünün 380-780 nm dalga boyu aralığında insan gözü tarafından algılanan görülebilir ışıına ait yansıtıcılık, geçirgenlik ve yutuculuk katsayıları dikkate alınmalıdır. Görülebilir ışıınım, iç ortamda aydınlatma konforunun sağlanmasında önemli bir etkindir.

- Gün ışığı geçirgenlik katsayısı (T_{vis})

380-780 nm dalga boyu aralığındaki gün ışığı olarak ifade edilen görülebilir ışıınım, iç ortamın aydınlatılmasında etkilidir. İç ortamda doğal aydınlatma sağlayarak enerji kullanımında da önemli bir performans göstermektedir. İç ortama alınan gün ışıının geçirgenlik katsayısı; camın kalınlığı, türü ve camın yüzeylerinde kullanılan film ve kaplama çeşitlerine göre değışkenlik göstermektedir. Camların kalınlığı arttıkça geçirgenlik oranı da azalmaktadır.

Gün ışığı geçirgenliği, SHGC (Güneş ısısı kazanç katsayısı) değeriyle de ifade edilmektedir. Kısaca gün ışığı geçirgenlik katsayısının düşük olması yani SHGC (Güneş ısısı kazanç katsayısı) değeri düşük olması geçirgenlik oranında düşüşe neden olmaktadır. Bu sebeple cam türlerinin gün ışığı geçirgenlik özelliğinde SHGC değerini dikkate almak faydalı olmaktadır.

- Gün ışığı yansıtma katsayısı (R_{vis})

380-780 nm dalga boyu aralığında gün ışığı olarak ifade edilen görülebilir ışıının cam yüzeyler tarafından geri yansıtılan miktarının cam yüzeylere gelen toplam gün ışıına oranı ifade etmektedir.

- Gün ışığı soğurma katsayısı (α_{vis})

380-780 nm dalga boyu aralığında gün ışığı olarak ifade edilen görülebilir ışınının cam yüzeyler tarafından soğurulan miktarının cam yüzeylere gelen toplam gün ışığına oranı ifade etmektedir [Maçka, 2008].

3.2.2. Camların Termofiziksel Özellikleri

Cam türlerinin ısı performans açısından enerji etkinliklerinin değerlendirilebilmesi için sahip oldukları termofiziksel özellikler önemli değerlendirme kriteridir. Cam türlerinin termofiziksel özellikleri ısı iletkenlik katsayısı (λ), ısı geçirgenlik katsayısı (U), güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC), serinlik indeksi (Dx) ve gölgeleme katsayısı (SC)'dir.

- Isı iletkenlik katsayısı (λ -W/mK)

Saydam yüzeyler üzerindeki 1 m mesafede 1 m²'lik yüzey alanda, iç ve dış ortam arasındaki 1 Kelvin sıcaklık farkında içeri geçen ısı akış miktarını ifade etmektedir [TS825, 2018]. Her cam türünün farklı bir ısı iletkenlik katsayı değeri vardır. Düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olan cam türleri ısı geçirgenliğe yüksek oranda direnç sağlamaktadır. Ayrıca ısı geçirgenlik katsayısı değerinin hesaplanmasında önemli bir ölçüttür. Bu da ısı yalıtımı konusunda iyi performans sağladığını göstermektedir.

- Isı geçirgenlik katsayısı (U – W/m²K)

İç ve dış ortam arasındaki 1 kelvin (K) sıcaklık farkında saydam yüzeylerin 1 m²'sinden geçen ısı miktarını ifade etmektedir [Maçka, 2008]. Cam türlerinin ısı kazancını sağlama konusunda performansının değerlendirilmesinde önemli bir belirleyicidir. Isı geçirgenlik katsayı (U) değeri ne kadar yüksek oranda olursa yüzeylerden ısı geçişleri o kadar fazla olmaktadır. Dolayısıyla ısı korunumu açısından etkin performans göstermemektedir. Binaların saydam yüzeylerinde kullanılan cam türlerinin ısı korunumu açısından etkin performans gösterebilmesi için U değerinin düşük olması gerekmektedir.

- Güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC)

Cam yüzeyler tarafından doğrudan iç ortama geçirilen ısı enerjisi ile çerçeve malzemesini oluşturan opak yüzeyler tarafından soğurularak iç ortama verilen ısı enerjisinin toplamını ifade etmektedir. Güneş ısı kazancının istendiği soğuk iklim bölgelerinde SHGC değeri yüksek cam türleri tercih edilmektedir [Maçka, 2008]. Güneş kontrolünün sağlanması istenilen sıcak, ılıman-nemli iklim bölgelerinde ise SHGC değeri düşük cam türleri tercih edilmektedir. Ayrıca iç ortamda doğal aydınlatmanın istendiği durumlarda gün ışığı geçirgenlik katsayısı ve SHGC değeri yüksek cam türleri tercih edilmektedir.

- Serinlik indeksi (D_x)

Günışığı yeterlilik performansını kontrol etmek için kullanılan bir termofiziksel özelliktir. Camların sahip olduğu serinlik indeksi değerinin yaklaşık 1.0 olması sınır değerini ifade etmektedir. Bu değer 1.0 'dan fazla olması camlarda gün ışığı yeterlilik performansının sağlandığını göstermektedir [Maçka, 2008].

- Gölgeleme katsayısı (SC)

İç ortamda doğal aydınlatmanın kullanılması tercih edildiği zaman camların sahip olduğu gölgeleme katsayı değeri düşük olmalıdır. Bu özellik gün ışığı geçirgenlik katsayı değerinin ve SHGC değerinin düşük olma durumu ile aynı özelliği göstermektedir.

3.2.3. Saydamlık Oranı

Saydamlık oranı, bina kabuğunu oluşturan saydam bileşenlerin yüzey alanlarını oluşturan toplam bileşenlerin yüzey alanlarına oranını ifade etmektedir. Bu parametre, bina kabuğu aracılığıyla iç ortama güneş ısı ve ışınımının aktarılmasında önemli rol oynamaktadır [Berköz vd.,1996].

İklim koşulları ve bina yönelimleri cephelerin saydamlık oranını ve cam türlerinin optik ve termofiziksel özelliklerini belirlemektedir. Kuzey cephede güneş ısı ve ışınımının etkisi daha az olduğundan dolayı soğuk iklim bölgesindeki binaların kuzey yönündeki saydamlık oranı ve açıklıkları daha az olmaktadır. Dolayısıyla iç ortamın ısı kontrolü sağlanarak ısıtma enerjisinden tasarruf

sağlanmaktadır. Güney cephede güneş ısı ve ışınlımlarının etkisi daha fazla olduğundan dolayı soğuk iklim bölgelerinde binaların bu yöndeki saydamlık oranları ve açıklıkları daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla doğal ısıtma enerjisinden faydalanarak ısıtma enerji tüketiminden tasarruf sağlanmaktadır.

3.2.4. Gazların Termofiziksel Özellikleri

Çift katmanlı ve 3 katmanlı camların arasındaki boşluk ısıl tampon görevi görmektedir. Bu bölgelerde gaz kullanılmaktadır. Gaz türü olarak kullanılan hava, argon, kripton, xenon iç ortamın ısıl dengesini korumaya yardımcı olmaktadır. Gazların sahip oldukları termofiziksel özellikler ısı yalıtım konusunda etkin performans sağlamaktadır. Bu özellikler [Maçka, 2008];

- Yoğunluk (ρ – kg/m³)

Gazların sahip olduğu molekül sayısına bağlı olarak artmaktadır. Bulundukları ortamın sıcaklık değeriyle ise ters oranda değişkenlik göstermektedir.

- Isıl iletkenlik katsayısı (λ – W/mK)

Bir gazın 1 kelvin (K) sıcaklık değerine sahipken yüksek sıcaklığa sahip ortamdan düşük sıcaklığa sahip ortama iletilen ısı miktarını ifade etmektedir. Gazların yapısını oluşturan moleküller arasındaki mesafe katılara göre daha fazla olduğundan ve serbest yapıya sahip olduğundan dolayı ısı iletimleri daha zayıftır.

- Dinamik viskozite (μ - kg. m-1.s -1)

Gazların akışkanlıklarını ifade etmektedir. Sıcaklık değeri arttıkça gazların dinamik viskozitesi artmaktadır. Viskozitesi artan gazların molekülleri arasındaki mesafe arttığından dolayı ısı iletimleri de azalmaktadır.

- Özgül ısı kapasitesi (c – J/kg)

Bir gazın birim kütlesinin sıcaklığını birim derece arttırmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarına denilmektedir. Özgül ısı, gazlar için ayırt edici özelliklerinden biridir. Gazların bulunduğu fiziksel hal, ortam sıcaklığı, etki altında oldukları basınç az da olsa özgül ısı değerini etkilemektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan camların arasında kullanılan gaz türlerinden hava gazı ve argon gazının termofiziksel özellikleri ve bu değerlerin sıcaklık değerlerine göre değişimleri Tablo 3.1’de ifade edilmektedir [Maçka, 2008].

Tablo 3.1: Kullanılan farklı gaz türlerinin termofiziksel özellikleri (* Standart sınır koşulları).

Gaz Tipi	Sıcaklık (T-0C)	Yoğunluk (p-kg/m3)	Dinamik viskozite (μ-kg/(m.s).(10-5)	Isıl iletkenlik (λ-W/mK.10-2)	Özgül ısı kapasitesi (c-J/kg.K.10-3)
HAVA	-10	1,326	1,661	2,336	1,008
	0	1,277	1,711	2,416	
	10*	1,232	1,761	2,496	
	20	1,189	1,811	2,576	
ARGON	-10	1,829	2,038	1,584	0,519
	0	1,762	2,101	1,634	
	10*	1,699	2,164	1,684	
	20	1,640	2,228	1,734	

3.3. Cam Bileşenlerin Enerji Etkin Tasarımında Parametreleri

Bina kabuğunu oluşturan cam bileşenlerde enerji etkinliğinin sağlanması istenilen bir durumdur. Cam bileşenler tarafından sağlanan güneş ısı ve ışınım kontrolü, iç ortamın ısıtma-soğutma dengesi, iç ortamın görsel konforu tasarım aşamasında düşünülmesi gereken kriterlerdir. Bu kriterler güneş kontrolü, ısı korunumu ve günışığı kontrolü parametreleriyle sağlanmaktadır.

3.3.1. Güneş Kontrolü

Güneş kontrolü, cam türleri ve güneş kontrol elemanları tarafından etkinliği sağlanan bir parametredir. Cam yüzeye yansıyan güneş ışınları iç ortama ısı ve ışınım olarak alınarak ısı kazancı ve aydınlatma sağlamaktadır. Güneş kontrolü, cam türlerinin sahip olduğu güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve gölgeleme katsayısına (SC) göre değerlendirilmektedir.

- Güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC)

Bina kabuğunun cam yüzeylerinden iç ortama doğrudan alınan güneş ısı enerjisi ile soğurularak iç ortama alınan güneş ısı enerjisi miktarlarının toplamı güneş ısı kazanç katsayısını vermektedir [Maçka, 2008]. Isı kazanımı iç ortamın sıcaklık değerini arttırmaktadır. Sıcak-nemli, ılıman-nemli iklim bölgelerinde iç ortamın ısı kazanç değerinin artması soğutma enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu iklim bölgelerinde yaşanan yaz aylarında güneşin güney cephelere geniş açılarla gelmesi sonucu ısı kazanımını arttırmaktadır. Bu durum ısıl konfor açısından istenilen bir durum olmadığından dolayı tasarımcılar camlarda iklim odaklı, güneş kontrolünü sağlayacak tasarım kararları vermelidirler. Güneşten ısı kazançlarının istendiği soğuk iklim bölgelerinde kuzey cephelerde SHGC değeri yüksek cam türleri seçilmelidir. Güneş kontrolü sağlanarak ısı kazançlarının istenmediği yerlerde sıcak-nemli, ılıman-nemli iklim bölgelerinde güney cephelerde SHGC değeri düşük cam türlerinin kullanılması tercih edilmelidir.

- Gölgeleme katsayısı (SC)

Cam yüzeylerden alınan güneş ışıını iç ortamda aydınlatma etkisi oluşturmaktadır. İç ortamda görsel konforun sağlanmasını yüzeylerde kullanılan cam türlerinin gölgeleme katsayısı belirlemektedir. Gölgeleme katsayısı, cephede kullanılan cam türünün SHGC değeriyle aynı koşullar altında bulunan renksiz (berrak, düz) camın SHGC değerine oranıyla bulunmaktadır [Maçka, 2008]. Cam türlerinde bu katsayı değeri 1'den büyük ise güneş ışıının arttırılması, 1'den küçük ise güneş kontrolünün sağlanarak güneş ışıının azaltılması gerekmektedir. Teknolojiyle gelişmiş özelliklere sahip üretilen cam türlerinin gölgeleme katsayı değerleri yerine güneş ısı kazanç katsayı değerlerine göre değerlendirilmesi daha doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca cephede gölgelemeyi ve güneş ışıının kontrolünü sağlamak için gölgeleme araçları kullanılmaktadır.

Gölgeleme araçları farklı iklim bölgelerine, bina türlerine, kullanıldığı cephe yönüne göre sabit veya hareketli tasarımıyla kullanılmaktadır. Doğru tasarlanmış gölgeleme araçları güneş kontrolünü sağlayarak iç ortamdaki gün ışığı kalitesini arttırmaktadır. Ayrıca bina ısıtma ve soğutma gereksinimini de azaltarak enerji tüketiminde verimlilik sağlamaktadır.

Gölgeleme araçları cephenin içerisinde veya dışarısında konumlanabileceği gibi çift kabuklu cephelerde havalandırma boşluğu içerisinde de konumlanmaktadır.

Cephelerde sabit, hareketli malzemeler veya bitkiler kullanılarak istenilen gölge etkisi sağlanmaktadır. Gölgeleme araçlarının binalarda kullanıldığı cepheye göre tasarımı farklılaşmaktadır. Güney cephelere güneş açısı geniş açıyla gelmesi sonucu yüzeylerde daha fazla ısınma meydana gelmektedir. Bu sebeple güney cephede yatay konumda gölgelendirme aracının kullanılması güneş kontrolünü sağlamaktadır. Ancak öğle sonrası batı yönünden gelecek olan güneş ışınlamalarının kontrol edilmesini zorlamaktadır [Koca, 2006]. Doğu ve batı cephelerde güneş kırıcıların dik doğrultuda kullanılması güneş kontrolünü sağlamaktadır. Teknolojinin getirdiği yenilikler doğrultusunda cam türlerine kazandırılan optik ve termofiziksel özellikler sayesinde artık gölgeleme araçlarına ihtiyaç kalmamaktadır.

3.3.2. Isı Korunumu

Binalarda ısı yükleri; güneş ısı kazanımı, ısı iletimi, havalandırma ve iç yüklerle ilgili olarak oluşmaktadır. Bu etmenlerden iç yükler hariç diğer etmenler bina kabuğuyla kontrol edilmektedir [Karaca, 2011]. Bina kabuğunu etkileyen dış etmenlerden biri iklimsel koşullardır. Kış aylarında iç ortamın ısısı korunarak soğutma yükü azaltılmaktadır. Yaz aylarında ise iç ortamda oluşacak ısı miktarı sayesinde soğutma enerji yükü minimum düzeyde kullanılmaktadır. Bu performanslar bina kabuğunu oluşturan cam bileşenlerin optik ve termofiziksel özelliklerine göre sağlanmaktadır.

Ilıman - nemli iklim bölgelerinde güneş ısısı iç ortama cam yüzeylerden kolaylıkla geçiş sağladığından dolayı iç ortamda ısı kazancı yaz mevsiminde artmaktadır. Bu da ısı konfor açısından istenilmeyen bir durum oluşturmaktadır. Bu durumdan dolayı cam türlerinin termofiziksel özellikleri olan ısı iletkenlik katsayısı (λ) ve ısı geçirgenlik katsayısı (U) düşük oranda olmaktadır. Ayrıca cam katmanları arasında kullanılan gaz türlerinin termofiziksel özellikleri de dikkate alınmaktadır. Günümüz teknolojisinde iklim özellikleri kazandırılarak farklı termofiziksel özelliklere sahip cam türleri geliştirilmektedir.

3.3.3. Günüşğı Kontrolü

İnsanlar, bulundukları herhangi bir ortamda yaşantılarını devam ettirebilmek için ortamın aydınlatma ihtiyacını sağlaması gerekmektedir. Gün ışıının iç ortama saydam yüzeyler aracılığıyla alınması sonucu doğal aydınlatma kullanılmış olmaktadır. İç ortamda yapay aydınlatma kullanıldığında ise enerji tüketimi olmaktadır. İç ortamın aydınlatma düzeyi görsel konfor koşulları dikkate alınarak kamaşma ve parlama olmayacak şekilde sağlanmaktadır.

İklim bölgelerine göre gün ışığı kontrolü cam türlerinin optik ve termofiziksel özellikleriyle sağlanmaktadır. Ilıman-nemli iklim bölgelerinde özellikle yaz aylarında güneş ısıısının artışı ve gün ışıının içeriye yoğun miktarda alınması hem ısı konforu hem de görsel konforu olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple ısı geçirgenlik katsayı (U) ve güneş ısı kazanç katsayı (SHGC) değerinin düşük olması içeriye alınan ısı ve ışıının kontrolünü daha etkin bir düzeyde sağlanmaktadır. Camın sahip olduğu optik ve termofiziksel özelliklerin yanı sıra cephede kullanılan gölgeleme elemanları, bitkiler, saçaklar ve çıkmalar da gün ışıının iç ortama alınmasını kontrol etmektedir.

3.4. Cam Türleri

Bina kabuğı, saydam ve opak bileşenlerden oluşmaktadır. Sıydam yüzeyleri oluşturan cam türleri cephede kısmen açıklık olarak bulunabileceğı gibi cepheyi tamamen de kaplamaktadır. Binaların enerji performansında önemli bir malzeme olan cam türleri, bulundukları iklim ve yönlenmeye göre sahip oldukları optik ve termofiziksel özelliklerle görsel konfor, ısı performans ve işitsel konfor sağlamaktadır.

Günümüzde gelişen teknolojiyle istenilen performansı sağlamaya yönelik cam türleri gelişmektedir. Tamamen cam yüzeylerinden oluşan binalarda cepheden beklenen performanslar [Çetiner, 2002];

- Isısal ve optik özellikler,
- Hava sızdırmazlık,
- Su sızdırmazlık,

- Rüzgâr direnci,
- Doğal havalandırma,
- Doğal aydınlatma,
- Ses yalıtımı,
- Yangına dayanımı,
- Kullanım ömrü,
- Estetik,
- Ekonomi.

Binalarda beklenen bu performansların gerçekleştirilmesi için piyasada çok çeşitli cam türleri kullanılmaktadır. Bu cam türlerinin her birine özgü özellikler kazandırılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında renksiz (düz) camlar, güneş kontrol camlar ve iklim kontrol camlar araştırılmıştır.

3.4.1. Renksiz (Düz) Camlar

Renksiz (düz/saydam/float/berrak) camlar, konut binalarında yoğun olarak kullanılan bir cam türüdür. Kalınlıkları 3 mm-15 mm aralığında olup yüzeyleri pürüzsüz ve büyük boyutlarda üretilmektedir [Web 11, 2021].

Isı geçirgenlik katsayısı (U) açısından değerlendirildiğinde 3 mm kalınlığındaki değeri 5.8 W/(m²K), 15 mm kalınlığındaki değeri 5.4 W/(m²K) olup camın kalınlığı arttıkça ısı geçirgenlik (U) değeri azalmaktadır ve ısı korunumu için olumlu performans sağlamaktadır. Tablo 3.2’de verilen gün ışığı değerlerine bakıldığında kalınlık arttıkça geçirgenlik değeri azalmaktadır. Yani güneş kontrolü sağlanmış olmaktadır. Ama bu cam türü iç ortamın görsel konforunu sağlamak açısından iyi performans sağlayamamaktadır [Web 11, 2021]. Bu cam türleri tek katmanlı kullanılabildiği gibi çift veya 3 katmalı olarak da kullanılmaktadır. Bu katmanlar arasında hava, argon, kripton, xenon gibi gaz türleri bulunmaktadır.

Tablo 3.2: Renksiz (düz) cam türünün kalınlık değerlerine göre performansı.

Ürün	Standart Kalınlık mm	Gün Işığı (EN 410)		Güneş Enerjisi (EN 410)					Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri) W/m ² K (EN 673)
		Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Dışa Yansıtma %	Soğurma %	Direkt Geçirgenlik %	Toplam Geçirgenlik	Gölgeleme Katsayısı	
TRC Helio clear	3	90	8	8	8	84	0,86	0,99	5,8
	4	89	8	7	11	82	0,85	0,98	5,7
	5	89	8	7	13	80	0,83	0,95	5,7
	6	88	8	7	15	78	0,82	0,94	5,7
	8	87	8	7	18	75	0,80	0,92	5,6
	10	86	8	6	22	72	0,78	0,90	5,6
	12	85	8	6	25	69	0,75	0,86	5,5
	15	83	8	6	30	64	0,72	0,93	5,4

3.4.2. Güneş Kontrol Camlar

Güneş kontrolü, iç ortamın görsel konforunu sağlamakta ve enerji tüketiminde tasarruf sağlamaktadır. Ilıman-nemli iklim bölgelerinde sıcaklığın yoğun yaşandığı yaz aylarında güneş ısı ve ışınımının iç ortama geçişini azaltmaktadır, görsel konforu ve soğutma enerjisi tüketiminde tasarruf sağlamaktadır. Saydam yüzeylerde güneş kontrolü renkli cam ve reflektif (yansıtıcı) cam türleriyle sağlanmaktadır.

• Renkli Camlar

Kimyasal yapısına metal oksitlerin eklenmesiyle veya yapılarında bulunan demir oranlarıyla elde edilmektedir. Renk olarak genellikle yeşil, mavi, gri ve bronz kullanılmaktadır. Renk türü ve camın kalınlığına göre gün ışığı geçirgenliği değerleri değişmektedir. 6 mm kalınlığındaki yeşil camın ısı geçirgenlik katsayısı (U) 5.7 W/(m²K), mavi camın 5.7 W/(m²K), gri camın 5.7 W/(m²K) ve bronz camın ise 5.7 W/(m²K) olup aynı değerlere sahiptir. Gün ışığı geçirgenliğinde yeşil cam % 73, mavi cam % 56, gri cam % 44 ve bronz cam % 51 oranına sahiptir [Web 12, 2021]. Bu veriler doğrultusunda güneş kontrolü gri camlar daha etkin performans göstermektedir. Güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) değeri berrak camlara göre daha düşüktür. Renk koyulaştıkça güneş ışınımı cam yüzeyler tarafından daha çok soğurularak yüzeylerdeki sıcaklık değeri artmaktadır.

- Reflektif (yansıtıcı) Camlar

Saydam ve renkli camların yüzeylerine metal tabakaların kaplanmasıyla oluşmaktadır. İç ortama geçirilen güneş ısı ve ışınımını azaltır, güneş yansımalarını arttırmaktadır. İç ortama gün ışığı geçişinin az olması gündüz saatlerinde doğal ışıktan faydalanması azalttığından dolayı yapay aydınlatmaya olan ihtiyacı arttırır ve bu da enerji tüketimini arttırmaktadır [Maçka ve Yaşar, 2011].

3.4.3. İklim Kontrollü Camlar

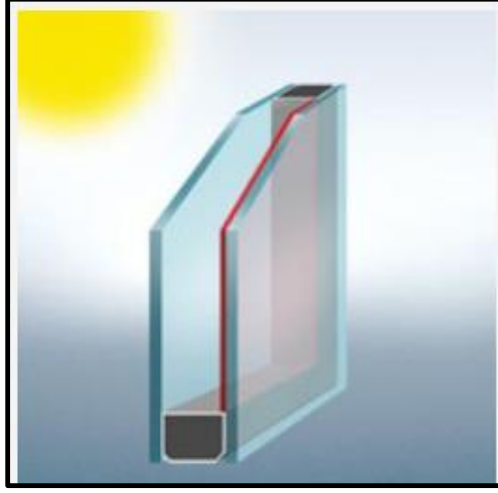
Dış ortamın hava koşullarına karşı kontrol saydam yüzeylerde düşük yayınlı (low-e) camlar ve hava tabakalı camlar aracılığıyla sağlanmaktadır.

- Düşük Yayınlı (low-e) Camlar

Renksiz cam yüzeylere metal veya metal oksitten oluşan, kalınlığı 10 nm' den az olan bir film kaplamasıyla oluşmaktadır [Griffith et al., 1998]. Kısa dalga boyuna sahip olan güneş ışınları iç ortama geçirildiğinde ortamda bulunan cisimler tarafından soğurulmaktadır. Cisimler tarafından soğurulan ışınlar ortama tekrardan yansırken uzun dalga boyuyla yayılırlar ve ortamın ısınmasına neden olurlar. Ayrıca ısıtma araçlarından da ortama uzun dalga boylu ışınlamalar yayılmaktadır.

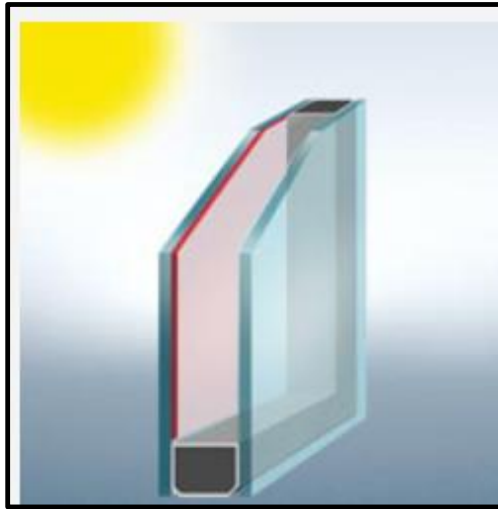
Yüzeylerde düşük yayınlı (low-e) cam kullanıldığında dış ortamdan iç ortama kısa dalga boylu güneş ışınlamaları ve gün ışığı yüksek oranda geçmektedir. Ancak iç ortamdaki cisimlerden ve ısıtma araçlarından yansıyan uzun dalga boylu ışınlar iç ortama tekrardan yansıtılarak ısı kazancının oluşmasına neden olmaktadır. Bu sayede soğuk iklim bölgelerinde ısıtma enerjisine duyulan ihtiyaç azalmaktadır. Ancak gün ışığını iç ortama geçirme oranı yüksek olduğundan dolayı güneş kontrolünü sağlamada etkin rolü olmamaktadır.

Şekil 3.4'teki görselde ifade edildiği üzere dış cam 6 mm renksiz düz cam, cam tabakalar arası boşluğu 12 mm hava gazı, iç cam 6 mm low-e katmanlı cam olan çift tabakalı cam türünün performansı Şişecam'ın "Performans Hesaplayıcı" motorunda hesaplandığında ele edilen verilerde gün ışığı geçirgenliği % 78, güneş enerji toplam geçirgenliği % 60, ısı geçirgenlik katsayı (U) değeri 1.6 W/(m² K) olarak ölçülmüştür [Web 12, 2021].



Şekil 3.4: İç camda düşük yayınlımlı (low-e) camın kullanımı.

Şekil 3.5'teki görselde ifade edildiği üzere dış cam 6 mm low-e katmanlı cam, cam tabakalar arası boşluğu 12 mm hava gazı, iç cam 6 mm renksiz düz cam özelliğinde olan çift tabakalı cam türünün performansı Şişecam'ın "Performans Hesaplayıcı" motorunda hesaplandığında ele edilen verilerde gün ışığı geçirgenliği % 78, güneş enerji toplam geçirgenliği % 54, ısı geçirgenlik katsayı (U) değeri 1.6 W/(m² K) olarak ölçülmüştür [Web 12, 2021].



Şekil 3.5: Dış camda düşük yayınlımlı (low-e) camın kullanımı.

Şekil 3.4 ve şekil 3.5'e ait hesap değerleri karşılaştırıldığında low-e katmanlı camın iç ve dış yüzeylerde kullanılması ısı geçirgenliğini ve gün ışığı geçirgenliğini etkilememiştir. Low-e katmanının dış camda kullanılması güneş enerjisi toplam geçirgenliğinin kontrolünü arttırmıştır. Bu sebeple camların etkin performans

gösterebilmesi için low-e katmanının camlarda kullanıldıkları konum önemli olduğu görülmüştür.

- Hava Tabakalı Camlar

Çift ve 3 katmanlar arasında 6 mm - 27 mm aralığında [Web 10, 2021] boşluk bulunan ve bu bölge arasında ısı iletkenliği düşük, viskozitesi yüksek olan asal gazlardan hava, argon, kripton, xenon ile doldurularak iklim kontrolü sağlanan cam türleridir. Kullanılan gaz türleri farklı termofiziksel ve optik özelliklere sahiptir. Yoğunlukları arttıkça ısı iletkenlikleri azalmaktadır. Böylece ısı geçirgenlik katsayısını (U) düşürerek ısı korunumu sağlanmış olmaktadır. Kullanılan gazlardan argon gazı maliyetli olması nedeniyle en çok kullanılan gazdır. Ancak ısı korunumu açısından en etkin olan gaz kriptonudur [Ayçam, 1998].

Şişecam'ın "Performans Hesaplayıcı" motoru aracılığıyla çift tabakalı camların termofiziksel özelliklerinin etkinlik değerleri, camlar arasında kullanılan gaz türleri üzerinden değerlendirmesi Tablo 3.3'te yer almıştır.

Tablo 3.3: Çift tabakalı camların gaz türlerine göre termofiziksel özellikleri. ²

Çift Tabakalı Camların Termofiziksel Özellikleri	Gün Işığı Geçirgenliği	Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenliği (Solar Faktör / g)	Gölgeleme Katsayısı (SC)	U Değeri W/(m ² K)
Düz Cam + Hava + Düz Cam	%81	%75	0,86	2,8
Düz Cam + Argon + Düz Cam	%81	%75	0,86	2,7
Düz Cam + Hava + Low-e	%78	%60	0,69	1,6
Düz Cam + Argon + Low-e	%78	%60	0,69	1,3
Low-e + Hava + Düz Cam	%78	%54	0,62	1,6
Low-e + Argon + Düz Cam	%78	%54	0,62	1,3

Hesaplama motorunda hava gazı ve argon gazı seçeneklerinin bulunmasından dolayı bu iki türlerinin performansı değerlendirilmiştir. Tablo 3.3'teki çift tabakalı camlarda kullanılan gaz türlerine göre cam türlerinin termofiziksel özelliklerinin sayısal verilere bakıldığında cam tabaklar arasında kullanılan gazın yalnızca ısı geçirgenlik katsayısı (U) da etkili olduğu görülmüştür. U değerinin düşmesi sebebiyle ısı kazancı sağlanmıştır. Bu sebeple soğuk iklim bölgelerinde cam

² Tablo 3.3, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından "Performans Hesaplayıcı" programı kullanılarak oluşturulmuştur.

türlerinde kullanılan gaz türü önemli bir kriter olmuştur. Diğer parametrelerdeki değişimlerin belirleyicisi low-e katmanlı camın kullanılmış olmasıdır.

Üç tabakalı camlarda kullanılan gaz türlerine göre cam türlerinin termofiziksel özelliklerinin sayısal değerleri Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4: Üç tabakalı camların gaz türlerine termofiziksel özellikleri.³

Üç Tabakalı Camların Termofiziksel Özellikleri	Gün Işığı Geçirgenliği	Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenliği (Solar Faktör / g)	Gölgeleme Katsayısı (SC)	U Değeri W/(m ² K)
Düz+ Hava + Düz +Hava+ Düz	%73	%67	0,77	1,9
Düz + Argon +Düz + Argon + Düz	%73	%67	0,77	1,7
Düz + Hava + Düz + Hava + Low-e	%71	%55	0,63	1,2
Düz + Argon + Düz + Argon + Low-e	%71	%55	0,63	1,0
Low-e + Hava+ Düz +Hava+ Düz	%71	%50	0,57	1,2
Low-e + Argon + Düz + Argon + Düz	%71	%50	0,67	1,0
Low-e + Hava+ Düz + Hava + Low-e	%68	%47	0,54	0,9
Low-e + Argon + Düz + Argon + Low-e	%68	%47	0,54	0,8

Tablo 3.4’te verilen sayısal değerlere bakıldığında cam tabaklar arasında kullanılan gaz türü yalnızca ısı geçirgenlik katsayısının (U)’ da etkili olduğu görülmüştür. Diğer parametrelerdeki değişimlerin belirleyicisi low-e camın kullanılmasıdır. Ayrıca üç tabakalı cam türlerinin verileri ile çift tabakalı cam türlerinin verileri karşılaştırıldığında üç tabakalı cam türlerinin ısı korunumu ve güneş kontrolünün sağlanmasında etkin performans göstermiştir.

Düşük yayılım özelliğine sahip olan low-e cam türleri piyasada low-e, Temperlenebilir low-e cam, Lamine low-e cam, Solar low-e cam ve Temperlenebilir Solar low-e olarak bulunmaktadır. Bu cam türleri, yapılarında bulunan kimyasal özelliklerin farklı olmasından dolayı gün ışığı geçirgenliği, SHGC, gölgeleme katsayısı ve ısı geçirgenlik (U) değerlerinde farklı oranlara sahiptir. Farklı low-e cam türlerinin karşılaştırması Tablo 3.5’te yer almıştır.

³ Tablo 3.4, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından “Performans Hesaplayıcı” programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 3.5: Farklı özelliğe sahip low-e katmanlı cam türlerinin karşılaştırması.⁴

İKİ TABAKALI LOW-E CAM TÜRLERİNİN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ			Gün Işığı Geçirgenliği	Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenli ği (Solar Faktör / g)	Gölgeleme Katsayısı (SC)	U Değeri W/(m ² K)
DIŞ KABUK (6 mm)	ARA BOŞLUK (12 mm)	İÇ KABUK (6 mm)				
Solar Low-e Cam	Hava Gazı	Düz Cam	%65	%42	0,49	1,6
Solar Low-e Cam	Argon Gazı	Düz Cam	%65	%42	0,49	1,3
Temperlenebilir Low-e Cam	Hava Gazı	Düz Cam	%71	%53	0,60	1,6
Temperlenebilir Low-e Cam	Argon Gazı	Düz Cam	%71	%53	0,60	1,3
Düz Cam	Hava Gazı	Temperlenebilir Low-e Cam	%78	%62	0,72	1,6
Düz Cam	Argon Gazı	Temperlenebilir Low-e Cam	%78	%62	0,72	1,3
Temperlenebilir Solar Low-E Cam (Nötr 50/33)	Hava Gazı	Düz Cam	%49	%34	0,39	1,6
Temperlenebilir Solar Low-E Cam (Nötr 50/33)	Argon Gazı	Düz Cam	%49	%34	0,39	1,3
Temperlenebilir Solar Low-E Cam (Nötr 62/44)	Hava Gazı	Düz Cam	%60	%44	0,50	1,6
Temperlenebilir Solar Low-E Cam (Nötr 62/44)	Argon Gazı	Düz Cam	%60	%44	0,50	1,3
Lamine Low-E Cam (33.1) (3+0.38+3) mm	Hava Gazı	Düz Cam	%77	%52	0,60	1,6
Lamine Low-E Cam (33.1) (3+0.38+3) mm	Argon Gazı	Düz Cam	%77	%52	0,60	1,3

⁴ Tablo 3.5, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından “Performans Hesaplayıcı” programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 3.5: Devam. ⁵

Lamine Low-E Cam (33.2) (3+0.76+3) mm	Hava Gazı	Düz Cam	%77	%53	0,61	1,6
Lamine Low-E Cam (33.2) (3+0.76+3) mm	Argon Gazı	Düz Cam	%77	%53	0,61	1,3
Düz Cam	Hava Gazı	Lamine Low-E Cam (33.1) (3+0.38+3) mm	%77	%60	0,68	1,6
Düz Cam	Argon Gazı	Lamine Low-E Cam (33.1) (3+0.38+3) mm	%77	%60	0,68	1,3
Düz Cam	Hava Gazı	Lamine Low-E Cam (33.2) (3+0.76+3) mm	%77	%60	0,69	1,6
Düz Cam	Argon Gazı	Lamine Low-E Cam (33.2) (3+0.76+3) mm	%77	%60	0,69	1,3
Low-e Cam	Hava Gazı	Düz Cam	%78	%54	0,62	1,6
Low-e Cam	Argon Gazı	Düz Cam	%78	%54	0,62	1,3
Düz Cam	Hava Gazı	Low-e Cam	%78	%60	0,69	1,6
Düz Cam	Argon Gazı	Low-e Cam	%78	%60	0,69	1,3

Gün ışığı geçirgenliğinde low-e katmanlı cam %78 oranının etkinlik göstererek iç ortamın aydınlatma konforunu sağlamıştır. Ancak temperlenebilir solar low-e katmanlı camın kullanılması %49 oranında bir performans sağlaması iç ortamda aydınlatma kontrolü sağlamıştır. Gün ışığı performansına eş değer olarak gölgeleme katsayısı (SC) da aynı performans özelliğini göstermektedir. SHGC değerlerine göre sıcak iklim koşullarında temperlenebilir solar low-e katmanlı camın kullanılması iç ortamın ısı konforunu sağlamada daha etkin sonuçlar vermiştir. Soğuk iklim bölgelerinde ise low-e katmanlı camın kullanılması iç ortamdaki ısı korunumunu sağlamada etkin performans göstermiştir. Ayrıca low-e katmanlı camın göstermiş olduğu etkinlik oranları çift tabakalı camda bulunduğu konum itibarıyla da farklılık

⁵ Tablo 3.5, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından “Performans Hesaplayıcı” programı kullanılarak oluşturulmuştur.

göstermiştir. Low-e katmanlı camın dış tabakada kullanılması sonucunda SHGC değeri % 54 iken iç tabakada kullanılması sonucu etkinliği % 60 oranında olmuştur. Sonuç olarak low-e katmanının dış tabakada kullanılması güneş ışıının kontrolünü sağlamada etkinlik sağlamıştır. Cam bileşenlerde ısı geçirgenlik (U) performansını etkileyen tek etmen cam tabakaları arasında kullanılan gazın cinsi olduğu görülmüştür.

İklim grupları 3 harf ile ifade edilmektedir. Birinci harfi oluşturan A harfi ekvator bölgesini, B harfi kurak bölgeyi, C harfi sıcak ılıman bölgeyi, D harfi kar bölgesini, E harfi ise kutup bölgesini ifade etmektedir. İkinci harf, bölgenin yağış durumunu üçüncü harf ise bölgenin sıcaklık durumunu ifade etmektedir.

Tablo 4.1'de [Bölük, 2016] 5 ana iklim ve alt gruplarının özellikleri belirtilmektedir.

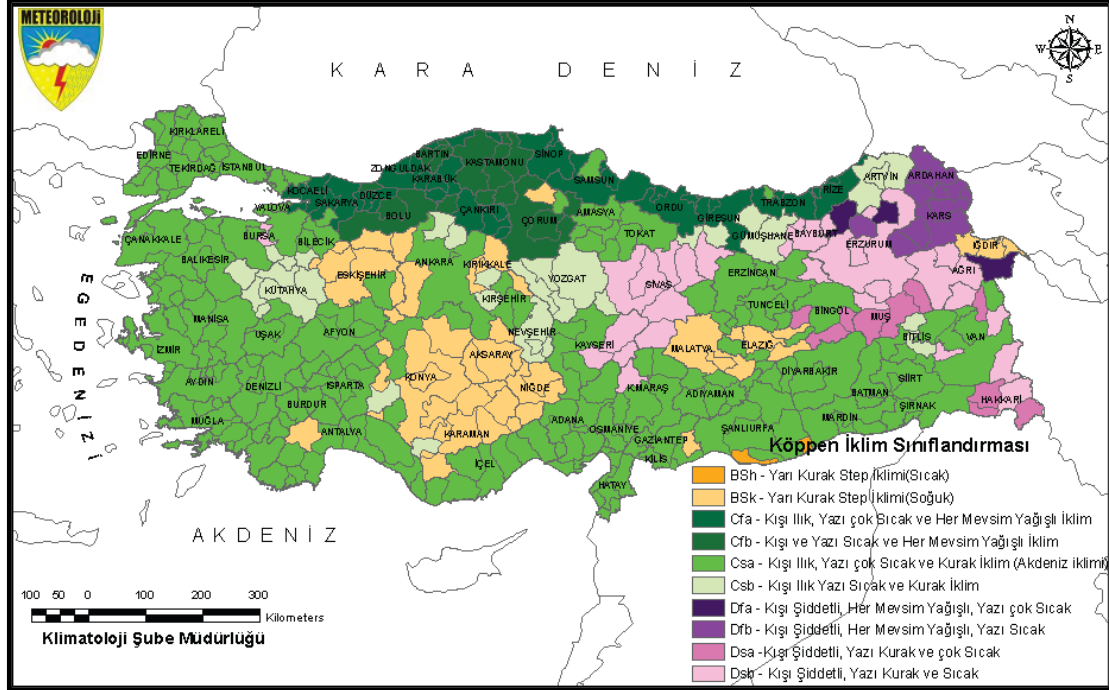
Tablo 4.1: Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre iklim tipleri ve özellikleri.

Sınıf	Tür	Tip	Tanım	Kurallar
A			Tropikal İklimler	Tsoğuk $\geq 18^{\circ}\text{C}$
	AF		Tropikal, Yağmur Ormanı İklimi	10 veya 12 ay yağışlı. En Kurak Ay yağışı 60mm den büyük
	AM		Tropikal Muson İklimi	En Kurak ay yağışı 60mm den küçük ve $100 - (P / 25)$ den büyük
	AW		Tropikal Savan İklimi	En Kurak ay yağışı 60mm den küçük ve $100 - (P / 25)$ den küçük
B			Kurak İklimler	P limit değerden küçükse(r) Yıllık yağışın %70 veya daha fazlası Yaz aylarında düşüyorsa $r = 20^{\circ}\text{T} + 280$ veya Yıllık yağışın %70 veya daha fazlası Kış aylarında düşüyorsa $r = 20^{\circ}\text{T}$ veya Bu şartların sağlanmadığı yerlerde $r = 20^{\circ}\text{T} + 140$
	BS		Yarı Kurak-Step İklim	P Limitin yarısından eşit veya büyükse
		BSH	Yarı Kurak Step İklimi(Sıcak)	$T \geq 18^{\circ}\text{C}$ den eşit veya büyükse
		BSK	Yarı Kurak Step İklimi(soğuk)	$T < 18^{\circ}\text{C}$ den küçükse
	BW		Kurak veya Çöl İklimi	P Limitin yarısından küçükse
		BWH	Kurak Çöl iklimi (Sıcak) Düşük Enlemler	$T \geq 18^{\circ}\text{C}$ den eşit veya büyükse
		BWK	Kurak Çöl iklimi (Soğuk) Orta Enlemler	$T < 18^{\circ}\text{C}$ den küçükse
C			Sıcak Ilıman İklimler	Tsıcak $\geq 10^{\circ}\text{C}$, ve $-3^{\circ}\text{C} < \text{Tsoğuk} < +18^{\circ}\text{C}$
	CS		Kurak Yaz ile sıcak ılıman İklim	$\text{P}_{\text{min}} < \text{P}_{\text{wmin}}$, $\text{P}_{\text{wmax}} > 3 \text{P}_{\text{min}}$ ve $\text{P}_{\text{min}} < 40 \text{ mm}$
		CSA	Kış ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi)	$\text{T}_{\text{sıcak}} \geq 22^{\circ}\text{C}$
		CSB	Kış ılık, yazı sıcak ve kurak iklim	En az 4 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $\text{T}_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$
		CSC	Yaz Soğuk ve kurak iklim	En fazla 3 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $\text{T}_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$
	CW		Kurak Kış ile Sıcak Ilıman İklim	$\text{P}_{\text{wmin}} < \text{P}_{\text{min}}$ ve $\text{P}_{\text{max}} > 10 \text{P}_{\text{wmin}}$
		CWA	Kış ılık ve kurak, yazı çok sıcak iklim	$\text{T}_{\text{sıcak}} \geq 22^{\circ}\text{C}$
		CWB	Kış ılık ve kurak, yazı sıcak iklim	En az 4 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $\text{T}_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$

Tablo 4.1: Devamı.

		CWC	Kış ıllık, yaz ı sıcak iklim	En fazla 3 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$
	CF		Her mevsim yağışlı sıcak ılıman iklim	Cs ve Cw durumuna uymayan diğerleri
		CFA	Kış ıllık, yaz ı çok sıcak ve her mevsim yağışlı iklim	$T_{\text{sıcak}} \geq 22^{\circ}\text{C}$
		CFB	Kış ıllık yaz ı sıcak, her mevsim yağışlı iklim	En az 4 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$
		CFC	Kış ıllık, Yaz ı serin ve her mevsim yağışlı iklim	En fazla 3 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$
D			Soguk İklimler	$T_{\text{sıcak}} \geq 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{soguk}} \leq -3^{\circ}\text{C}$
	DS		Kış ı Şiddetli, Yaz ı Kurak	$P_{\text{smin}} < P_{\text{wmin}}$, $P_{\text{wmax}} > 3 P_{\text{smin}}$ ve $P_{\text{smin}} < 40 \text{ mm}$
		DSA	Kış ı Şiddetli, Yaz ı Kurak ve sıcak	$T_{\text{sıcak}} \geq 22^{\circ}\text{C}$
		DSB	Kış ı Şiddetli, Yaz ı Kurak ve Serin	En az 4 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$
		DSC	Kış ı Şiddetli, Yaz ı Kurak ve soğuk	En fazla 3 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{soguk}} \geq -38^{\circ}\text{C}$
		DSD	Kış ı Çok Şiddetli	$T_{\text{soguk}} < -38^{\circ}\text{C}$
	DW		Kış ı Şiddetli ve Kurak	$P_{\text{wmin}} < P_{\text{smin}}$ ve $P_{\text{smax}} > 10 P_{\text{wmin}}$
		DWA	Kış ı Şiddetli ve Kurak, Yaz ı sıcak	$T_{\text{sıcak}} \geq 22^{\circ}\text{C}$
		DWB	Kış ı Şiddetli ve Kurak, Yaz ı Serin	En az 4 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$
		DWC	Kış ı Şiddetli ve Kurak, Yaz ı kısa ve serin	En fazla 3 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{soguk}} \geq -38^{\circ}\text{C}$
		DWD	Kış ı Çok Şiddetli ve Kurak	$T_{\text{soguk}} < -38^{\circ}\text{C}$
	DF		Kış ı Şiddetli her mevsim yağışlı	Ds ve Dw durumuna uymayan diğerleri.
		DFA	Kış ı Şiddetli, her mevsim yağışlı, yaz ı sıcak	$T_{\text{sıcak}} \geq 22^{\circ}\text{C}$
		DFB	Kış ı Şiddetli, her mevsim yağışlı, Yaz ı Serin	En az 4 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$
		DFC	Kış ı Şiddetli, her mevsim yağışlı, Yaz ı Serin	En fazla 3 Aym Ort. Sıcaklığı $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{sıcak}} < 22^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{soguk}} \geq -38^{\circ}\text{C}$
		DFD	Kış ı çok şiddetli, her mevsim yağışlı, Kışları çok soğuk	$T_{\text{soguk}} < -38^{\circ}\text{C}$
E			Polar İklimler	$T_{\text{sıcak}} < 10^{\circ}\text{C}$
		ET	Tundra İklimi	$0^{\circ}\text{C} < T_{\text{sıcak}} < 10^{\circ}\text{C}$
		EF	Don İklimi	$T_{\text{sıcak}} \leq 0^{\circ}\text{C}$

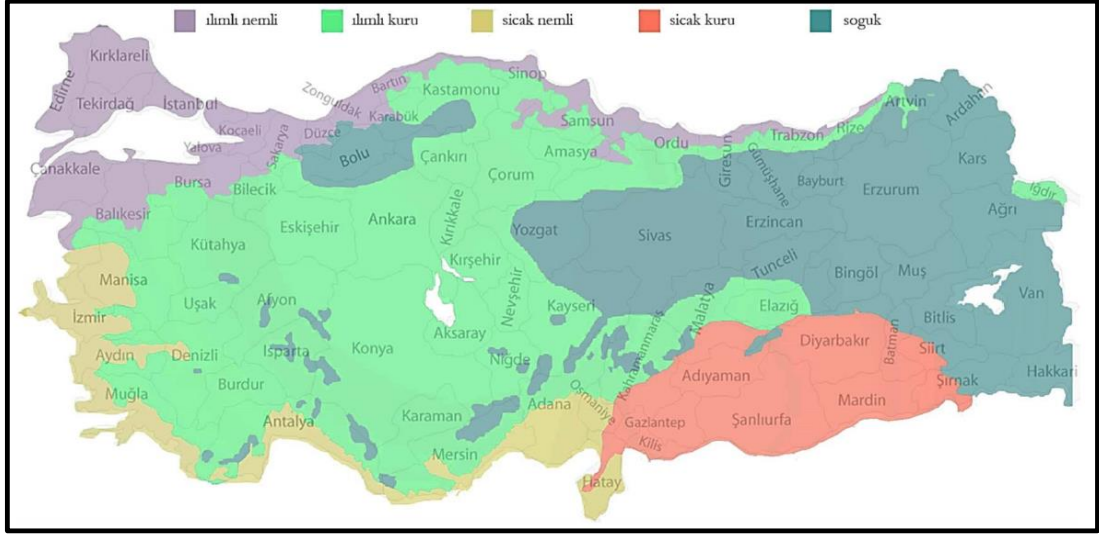
Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre 10 iklim tipinin varlığı söz konusudur. Şekil 4.2’deki Türkiye haritasında iklim çeşitleri il bazlı olarak gösterilmiştir [Bölük, 2016].



Şekil 4.2: Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye’nin iklim bölgeleri.

Şekil 4.2’deki haritada görüldüğü üzere Türkiye’nin büyük çoğunluğu CSA iklim tipine aittir. Bu iklim tipi Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Ege, Marmara bölgelerinde ve Orta Karadeniz’in iç kesimlerinde görülmektedir. Kısaca Türkiye’nin kıyı bölgelerinde görülmektedir. CSA iklim tipi ılıman-nemli iklim özelliğine sahiptir. Ortalama sıcaklık değeri 14.2 °C olup en düşük sıcaklık değeri ocak ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise temmuz ayında görülmektedir. Tipik Akdeniz iklimi özelliklerine sahiptir ve yazları sıcak, kışları ise ılık geçmektedir. En soğuk mevsimlerde bile sıcaklık değeri 0 °C’nin altına düşmemektedir [Öztürk vd., 2017].

Türkiye’nin iklim sınıflandırılması dair birçok çalışmalar yapılmaktadır. Prof. Dr. Ümran Emin Çölaşan, Türkiye’yi 7 farklı iklim bölgesine ayırmaktadır. Bu çalışmasında 35 farklı merkeze ait iklim verilerini değerlendirmektedir. Diğer bir sınıflandırma çalışması ise Lütfi Zeren tarafından yapılmaktadır. Lütfi Zeren çalışmasında Türkiye’yi 5 ana iklim bölgesine ayırmaktadır [Özdemir, 2005]. Bunlar Şekil 4.3’te verilen haritada ifade edildiği gibi sıcak-nemli, sıcak-kuru, ılıman-kuru, ılıman-nemli ve soğuk iklim bölgeleridir [Zeren, 1959].



Şekil 4.3: Lutfi Zeren'nin iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim bölgeleri.

Sıcak-nemli iklim bölgesinde bulunan iller Tablo 4.2'de, sıcak-kuru iklim bölgesinde bulunan iller Tablo 4.3'te, ılıman-kuru iklim bölgesinde bulunan iller Tablo 4.4'te, ılıman-nemli iklim bölgesinde bulunan iller Tablo 4.5'te, soğuk iklim bölgesinde bulunan iller Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.2: Sıcak-nemli iklim bölgesinde bulunan iller.

Adana	Denizli	İzmir
Antalya	İçel	Manisa
Aydın	İskenderun	Muğla

Tablo 4.3: Sıcak-kuru iklim bölgesinde bulunan iller.

Adıyaman	Gaziantep	Mardin	Siirt
Diyarbakır	Kahramanmaraş	Urfa	

Tablo 4.4: Ilıman-kuru iklim bölgesinde bulunan iller.

Afyon	Elazığ	Kırşehir	Niğde
Ankara	Erzincan	Konya	Uşak
Burdur	Eskişehir	Kütahya	
Çankırı	Isparta	Malatya	
Çorum	Kayseri	Nevşehir	

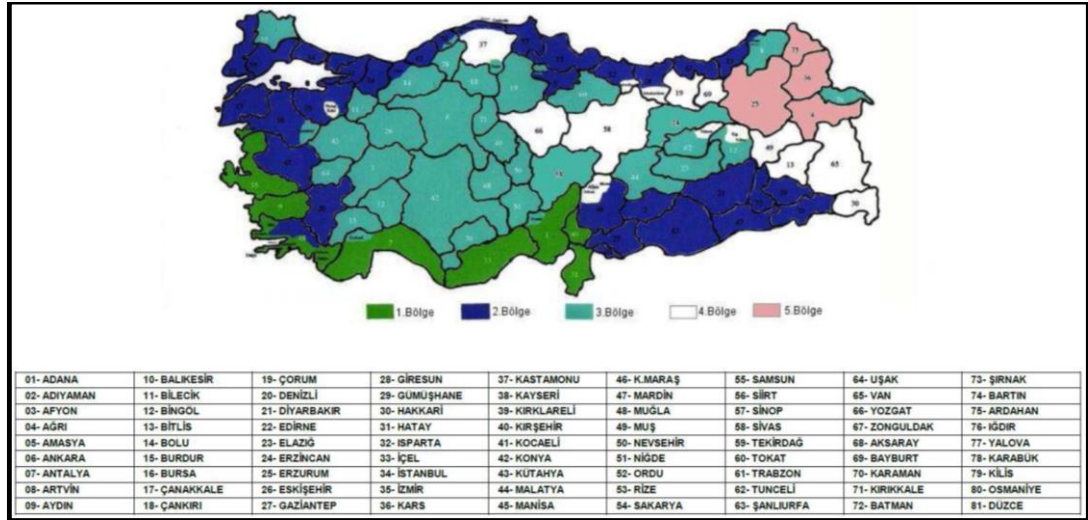
Tablo 4.5: ılıman-nemli iklim bölgesinde bulunan iller.

Amasya	Çanakkale	Kocaeli	Sinop
Artvin	Edirne	Ordu	Tekirdağ
Balıkesir	Giresun	Rize	Tokat
Bilecik	İstanbul	Sakarya	Trabzon
Bursa	Kırklareli	Samsun	Zonguldak

Tablo 4.6: Soğuk iklim bölgesinde bulunan iller.

Ağrı	Erzurum	Kars	Van
Bingöl	Gümüşhane	Muş	Yozgat
Bitlis	Hakkari	Sivas	
Bolu	Kastamonu	Tunceli	

Türkiye’de genel kabul gören iklim sınıflandırmasında “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı” kullanılmaktadır. Şekil 4.4’te [TS825, 2013] görüldüğü üzere sınıflandırmada illerin derece gün bölgeleri esas alınarak I., II., III. IV. ve V. derece gün bölgeleri olarak 5 farklı iklim bölgesine ayrılmaktadır.



Şekil 4.4: TS 825’e göre Türkiye’nin derece gün bölgelerine göre illeri.

TS 825 standardı kapsamında II. derece gün bölgesinde genel olarak sıcak kuru ve ılıman- nemli iklim özellikler görülmektedir. Türkiye’nin kuzey kesimlerinde denizin etkisiyle nemli iklim özellikleri görülmektedir. Güneydoğu bölgesinde ise kuru iklim özellikleri görülmektedir. Yıllık ortalama hava sıcaklığı 15°C’dir [Farahbakhsh, 2014].

Ilıman-nemli iklim bölgelerinde yaz ve kış aylarının sıcaklık farkı az olduğundan dolayı insanın konfor koşullarına uygundur. Ancak deniz kenarında olma durumu ve konum itibarıyla deniz seviyesinden yüksekte olma durumuna göre yaz ve kış aylarında sıcaklık farklarında az veya çok farklar oluşmamaktadır. Bu iklimin en belirgin özelliği yağış miktarının ve nem oranının yüksek olmasıdır. Yıl genelinde sıcak hava ve soğuk hava dağılımı dengeli olduğundan dolayı güneşten ve rüzgârdan korunmak ve yararlanmak gerekmektedir. Isıtma ihtiyacına daha çok ihtiyaç duyulmaktadır [Kısa Ovalı, 2019].

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardının amacı, Türkiye'deki binalarda enerji tasarrufunu sağlamak için ısıtmada kullanılan enerji miktarlarını sınırlamak, enerji ihtiyacı için hesaplama yöntemini ve değerlerini belirlemektir. Ayrıca yeni yapılacak olan binalarda enerji performansı sağlamak, enerji ihtiyacının hesaplanmasında hesaplama yöntemi ve değerlere uygun olarak tasarım yapmak, mevcut binaların enerji kullanım potansiyelini belirlemek, mevcut binaların enerji tüketim performansları tespit edilerek iyileştirmeler yaparak enerji etkinliğini sağlamak hedeflenmektedir [TS825, 2013].

4.2. Ilıman - Nemli İklim Bölgesine Ait İklimsel Tasarım Parametreleri

Yapı sektöründe enerjinin büyük bir bölümü binalarda iklimsel konfor koşullarının sağlanması için harcanmaktadır. Bu sebeple enerji tüketimini minimum düzeyde tutmak, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak gerekmektedir. Tasarımcı, tasarım parametrelerini belirlerken iklim koşullarını göz önünde bulundurarak uygun kararlar vermesi gerekmektedir. Tasarım sürecinde alınan kararlarda iklimin etkin rol alıyor olmasından dolayı bu sürece iklimsel tasarım süreci de denilmektedir. İklimsel tasarım parametreleri [Manioğlu ve Koçlar Oral, 2010];

- Binanın bulunduğu yer,
- Bina aralıkları,
- Binanın yönelmesi ve formu,
- Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri,
- Doğal havalandırma,

4.2.2. Bina Aralıkları

Binaların aralarındaki mesafe, bina yükseklikleri ve birbirleriyle olan konum ilişkileri iklimsel tasarımda önemli bir kriterdir. Bu kriterler doğrultusunda binalar birbirlerinin güneş ısısını, ışıınımlarını ve doğal havalandırma etkisini engelleyebilir veya faydalanmalarına olanak sağlayabilir. Bu sebeple binalar birbirlerinin güneş ısı ve ışıınımları ile rüzgâr etkilerini engellemeyecek şekilde konumlandırılmalıdır. Güneş ışıınımlarından kaçınılmak isteniyorsa binalar birbirlerine gölge etki oluşturacak şekilde konumlandırılmalıdır. Eğer güneş ışıınımlarından faydalanılmak isteniliyorsa bina aralıkları, diğer binaların oluşturduğu en uzun gölge alanlarından daha büyük ya da eşit olacak şekilde düzenlenmelidir. Rüzgarın serinletici etkisinden faydalanılmak istendiğinde hakim rüzgar yönü dikkate alınarak tasarım kararı verilmektedir.

4.2.3. Binanın Yönlenmesi ve Formu

Binalarda iklimsel tasarım yapılırken güneş ısısını, ışıınımlarını ve rüzgar etkisini etkin bir şekilde kullanmak için binanın yönelimi ve formu önemli bir kriterdir. Güneş ve rüzgâr etkilerini doğrusal olarak yansıttığından dolayı bina cephelerindeki etkileri farklılık göstermektedir. Bu sebeple bina kabuğunun doğrudan maruz kaldığı güneş ısı, ışıınım ve rüzgâr etkileri iç ortamın konforunu etkilediğinden dolayı ısıtma-soğutma enerji tüketiminde belirleyici bir parametredir.

Bina formu, ısı kayıp ve kazançlarını belirleyen önemli parametredir. Binanın formuna ek olarak cephede kullanılan saydam ve opak yüzey oranları, kullanılan malzemelerin optik ve termofiziksel özellikleri, binanın yüksekliği, bina uzunluğunun derinliğe oranı, çatı türü ve eğimi belirleyici unsurlardır. Binada opak yüzeylerin ve çatı yüzeylerinin artması enerji verimini azaltmaktadır [Göksal ve Özbalt, 2002]. Binaların dış ortamla temas eden yüzeylerin alan miktarı enerji performansını etkilemektedir.

Türkiye, Kuzey Yarım Küre’de olduğundan dolayı güney cephesi diğer cephelere göre daha sıcaktır. Bu nedenle binada ısı kazanç ve korunumunun sağlanması için güney cephedeki camların geniş ve U değeri düşük özellikler de olmalıdır. Kuzey cephesi ise sağır ve az boşluklu yüzeyden oluşmalıdır. Rüzgârın

serinletici etkisinden faydalanmak için binanın ceniş cephesi hâkim rüzgâr yönü doğru yönlendirilmelidir. Kış aylarında Güneş ısısından, yazın ise rüzgârın serinletici etkisinden fayda sağlanmak istenmektedir. Bu istenilen durum için binaların dış ortam koşullarına göre yönelimine tasarım sürecinde karar verilmektedir. Ayrıca bir durum sağlanırken diğerinin engellenmesi için cephede güneş kontrol elemanları gibi mimari kontrol elemanlarının kullanımı sağlanmaktadır.

4.2.4. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri

Bina kabuğunu oluşturan saydam ve opak bileşenler, sahip oldukları optik ve termofiziksel özelliklere göre pasif enerji kullanımında etkinlik kazanmaktadır. Bina kabuğunun birim alanından geçen güneş ısı ve ışınlımlarının iç ortamdaki ısı kayıp ve kazançlarını, görsel konforunu ve iç ortam konforunu optik ve termofiziksel özellikler belirlemektedir. Bina kabuğunun termofiziksel özelliklerini sağlayan parametreler;

- Isı Geçirme Katsayısı (U)

Kabuğu oluşturan saydam ve opak bileşenlerin ısıya karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir. Isı geçirme katsayısının düşük olması kabukta ısı geçişinin az olduğu ve ısıya karşı dirençli olduğunu ifade etmektedir. Böyle iç ortamın ısı korunumu sağlanmaktadır.

TS 825'e göre 5 farklı iklim bölgesindeki binalarda kullanılan saydam ve opak bileşenlerden U_D (Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı), U_T (Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı), U_t (Zemine oturan döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı), U_p (Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı)'nin sahip olması gereken azami ısı geçirgenlik değerleri Tablo 4.7'de belirtilmiştir.

Tablo 4.7: TS 825'e göre 5 farklı iklim bölgesine ait önerilen azami U değerleri.

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	U_p (W/m ² K)
1. BÖLGE	0,66	0,43	0,66	1,8
2. BÖLGE	0,57	0,38	0,57	1,8
3. BÖLGE	0,48	0,28	0,43	1,8
4. BÖLGE	0,38	0,23	0,38	1,8
5. BÖLGE	0,36	0,21	0,36	1,8

- Saydamlık Oranı

Bina kabuğundaki cam yüzey alanlarının toplam yüzey alanlarına oranını ifade etmektedir. Saydam yüzeyler iç ortamın aydınlatmasını ve güneş ısı kazancını sağlamaktadır. Opak yüzeylere göre daha geçirgen olduklarından dolayı binaların yönelimi, bulunduğu yerin iklim özellikleri, hâkim rüzgâr yönü dikkate alınarak bina cephelerinin saydamlık oranları belirlenmektedir [Türktaş, 2014].

- Genlik Küçültme Faktörü

Gün içerisinde iç yüzeyin sahip olduğu maksimum sıcaklık değeri ile ortalama iç yüzey sıcaklık değeri farkının maksimum güneş ışınlama sıcaklık değeri ile ortalama güneş ışınlama sıcaklık değerinin farkına oranını ifade etmektedir. Bu faktör, kabuğu oluşturan opak ve saydam bileşenlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ), kalınlıkları (d), yoğunlukları (ρ), özgül ısıları (c) ve ısı kapasitelerine göre etkinlik göstermektedir [Türktaş, 2014].

- Zaman Geciktirmesi

Gün içerisinde kabuk bileşenini etkileyen maksimum güneş ısıısının iç yüzeyde maksimum seviyeye gelinceye kadar geçen zamanı ifade etmektedir. Zaman geciktirme faktörü de bina kabuğunu oluşturan opak ve saydam bileşenlerin ısı iletkenlik katsayısı (λ), kalınlıkları (d), yoğunlukları (ρ), özgül ısıları (c) ve ısı kapasitelerine göre etkinlik kazanmaktadır [Türktaş, 2014].

- Sönüm Oranı

Gün içerisinde iç ortamdaki maksimum güneş ısıısı ile minimum güneş ısıısı farkının, dış ortamdaki maksimum güneş ısıısı ile minimum güneş ısıısı farkına oranını ifade etmektedir [Soysal, 2008].

Bina kabuğunu oluşturan bileşenlerin optik özellikleri dış ortamdaki güneş ısı ve ışınlamaya ait yansıtıcılığı, geçirgenliği ve yutuculuğu kapsamaktadır. Kabuğu oluşturan bileşenlerin cinsine göre optik özellikler değişiklik göstermektedir. Saydam yüzeyler, kısa dalga boyu ışınlamayı geçirirken uzun dalga boyu ışınlamaya karşı saydam yüzeyler opak yüzey gibi davranarak sera etkisi oluşturmaktadır ve iç ortamda ısı kazancı sağlanmaktadır. Opak bileşenler güneş ışınlamayı doğrudan iç ortama geçirmemektedir. Ancak renk, doku, yüzey sıcaklığı, ışının geliş açısı ve

dalga boyuna göre kabuk yüzeyine gelen ışıının bir kısmını yansıtmaktadır. Kalan kısmını ise yutarak ısı enerjisine dönüştürmektedir. Bu özelliği sayesinde pasif güneş enerjisinin kullanıldığı binalarda gündüz depolanan ısı enerjisi gece kullanılmaktadır [Soysal, 2008].

Ilıman - nemli iklim bölgesinde iç mekânda gerekli ısı konfor koşullarını sağlamak için dış cephe yüzeyinde gerekli optik ve termofiziksel özellikteki değerlere sahip duvarlar ve cam malzemeler kullanılmalıdır.

4.2.5. Doğal Havalandırma

Doğal havalandırma sistemi, binaların iç ve dış ortamları arasında oluşan rüzgâr basıncı ve ısı farkları sebebiyle etkinlik göstermektedir. Çift kabuk cephe sistemlerinin çalışma prensibinde doğal havalandırma sistemi esas alınarak farklı tasarım çeşitleri meydana gelmektedir. İki kabuk arasında oluşturulan tampon bölgeye dış cephenin alt kısmında bulunan menfezler aracılığıyla alınan hava ısınarak yükselmektedir ve dış kabuğun üst kısımlarında bulunan menfezlerden dışarı atılarak doğal havalandırma sistemi oluşturulmaktadır. Bu sistem bina yüksekliğinde olabileceği gibi kat yüksekliğinde de olabilir. Yalnız bu sistemlerde baca etkisinin etkin bir doğal havalandırma sağlaması için iklim şartlarının da elverişli olması gerekmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde baca etkisinin oluşması zor olacağından dolayı bu iklim tipinde etkinliği istenilen düzeyde sağlanmamaktadır.

Şaft tipi çift kabuk cephe sisteminde tampon bölgedeki hava yapıyı boydan boya gezmektedir. Bu esnada iç kabukta bulunan açıklıklar aracılığıyla iç ortamın ısı konforu sağlanmaktadır. Yapı yüksekliği fazla olduğunda tampon bölgede ısınan hava yükselerek iç ortama açıklıklardan girip ısı konforu olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple shaft tipi tasarım yüksek yapılarda tercih edilmemektedir.

Kat tipi çift kabuk cephe sistemlerinde hava her kat düzleminin alt kısmından tampon bölgeye alınıp buradan iç cephe üzerinde bulunan açıklıklar sayesinde iç ortama alınmaktadır. Daha sonra iç ortamda ısınan hava yine aynı kat düzleminin üst kısmından dışarıya verilmektedir. Bu sistem tasarımıyla yüksek katlarda da kullanılabilir.

Kutu tipi çift kabuk cephe sistemlerinde ise modüler olarak kat düzleminde yerleştirilmektedir. Havalandırma boşluğu kat sınırlarında olup mekânlar arasında

baca etkisinden dolayı hava sirkülasyonu sağlanamamaktadır. Yalnızca her mekân kendi içerisinde doğal olarak havalandırılmaktadır.

4.2.6. Güneş Kontrolü

Yapılarda iç mekâna alınan güneşin kontrolü, cephelerde kullanılan saydam ve opak bileşenlerin optik ve termofiziksel özelliklerine, cephede kullanılan güneş kırıcıların tasarımına ve malzeme özelliklerine göre sağlanmaktadır. Güneş kontrolü iç mekândaki ısı kazanımını engelleyerek ısıl konforu sağlamaktadır. Böylece yaz aylarında soğutma yükünü azaltarak enerji tasarrufuna katkısı olmaktadır. Ayrıca cepheye yansıyan gün ışığını iç ortama alınırken kontrol sağladığından dolayı görsel konfor kalitesini de arttırmaktadır.

Ilıman - nemli iklim bölgelerinde saydam yüzeylere yansıyan güneş ısı ve ışınlamalar iç ortamın ısı ve görsel konforunu ciddi oranda etkileyen bir unsurdur. Bu bölgelerde güneş ışınlamalarının kontrolünde cephelerde kullanılan opak malzemelerin koyu renkte olmamasına dikkat edilmelidir. Koyu renkteki malzemeler güneş ışınlamalarını absorbe ederek iç ortamın sıcaklık değerini arttırmaktadır. Saydam malzeme olarak kullanılan camların iklim koşullarına uygun optik ve termofiziksel özelliklerde seçilerek kullanılması gerekmektedir. Ayrıca tasarımın bir unsuru olarak kabul edilen güneş kırıcılar, binanın cephesine yansıyan güneş ısı ve ışınlamaların yoğunluğuna göre konumlandırılmaktadır. Güney cepheye geniş açılarla yansıyan güneşin cephede kontrolünün sağlanması için güneş kırıcılar yatay konumda kullanılmaktadır. Doğu ve batı yönlerinde güneş ışınları geniş açılarla cepheye yansıdığından dolayı güneş kırıcılar dikey olarak konumlanmaktadır veya bitkilerle gölgelendirme yapılmaktadır. Güneş kırıcılar, iç ortama alınan rüzgârı engellemeyecek bir şekilde tasarlanıp konumlandırılmasına dikkat edilmektedir.

4.2.7. Nem Kontrolü

Bina kabuğunda meydana gelen yoğunlaşma problemi kabuğu oluşturan bileşenlerin termofiziksel özelliklerini bozarak iç ortamın ısı konfor kalitesini düşürmektedir. Bina cephelerinde yoğunlaşmadan kaynaklı hasarların oluşmasına engel

olmak için cephede kullanılan opak bileşenlerin yıl içerisinde nem miktarında sınır değerini aşmamalıdır.

Ilıman- nemli iklim bölgesinde yoğun olarak gözlenen nem miktarının cephede hasar oluşturmaya engel olmak için kullanılacak olan bileşenlerin doyma nemlilik oranına dikkat edilmektedir. Bu tasarım parametresi enerji tüketiminde önemli oranda tasarrufa neden olmaktadır.

5. MEVCUT BİNALARIN ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Günümüzde yeni teknoloji sistemleriyle inşa edilen binalar, enerji etkin tasarım parametrelerine uygun olarak tasarlanmaktadır. Ancak mevcut binalarda enerji etkinliği sağlanabilmesi için iki çeşit alternatif bulunmaktadır. Birisi mevcut binayı yıkip tekrardan enerji etkin tasarım parametrelerine uygun inşa etmek diğeri ise mevcut binanın enerji ve ısı kaybını engelleyecek, kullanıcı konfor koşullarını sağlayacak iyileştirme çalışmaları yapmaktır. Mevcut binayı yıkip yeniden inşa etmek kullanıcı açısından daha çok maliyete, çevresel olarak ise ham madde, enerji tüketimi ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. İyileştirme çalışmaları mevcut binanın ihtiyacına göre her sistem üzerinde yapılmaktadır. Bu sebeple mevcut binalarda enerji etkinliğinin sağlanması için iyileştirme çalışmalarının yapılması öncelikli olarak düşünölüp tercih edilmelidir.

5.1. Enerji Etkin İyileştirmenin Tanımı ve Amaçları

İyileştirme kavramı mevcut durumdaki performansı tekrardan güçlendirmek, yeni ihtiyaçları karşılamak, deformasyona uğrayarak fonksiyonlarını yerine getiremez durumda olan sistemlerin tekrardan işlevselliğini kazandırmak için yapılan çalışmalara denilmektedir. Mevcut binalarda iyileştirme yapma gereksinimi oluşturan etmenler; yeni tasarım olgularına dâhil olmak, teknolojinin sağladığı faydalardan yararlanmak, enerjiden tasarruf sağlamak, binaya değer katacak sertifikalara sahip olmak için tercih edilmektedir. Mevcut binanın içinde bulunduğu yapay ve doğal çevreye uygunluk gözetilerek iyileştirme çalışmalarının yapılması uygulamada etkin sonuçlar vermektedir.

Enerji etkin iyileştirme, mevcut yapıda enerji tüketiminden tasarruf sağlamaya yönelik olup ısıtma, soğutma, aydınlatma ve iç konfor koşullarını minimum enerji kullanarak sağlamaktır. İyileştirme yaparken mümkün olduğunca pasif sistemler kullanılmalı, yetersiz olduğu durumlarda da aktif sistemler ile desteklenmelidir. İyileştirmenin yapılması binaların kullanım ömrünü arttırmasının yanı sıra maliyet açısından da yeniden inşa etmeye göre daha az maliyetli olup kaynak/malzeme/hammadde ve enerji etkinliği konularında da önemli oranda

tasarruf sağlamaktadır. Yeniden inşa etme sürecinde ortaya çıkacak olan atıkların miktarı, bertaraf edilme sorunu ve bu sürede doğada kalma sürelerinden dolayı çevreye verdikleri zarar düşünüldüğünde iyileştirme çalışmalarının yapılması daha çevreci bir yaklaşım olmaktadır.

Balaras, Dascalaki ve Kontoyiannidis [2003] yaptıkları çalışmada binaların yeniden inşa edilmesinin yerine yenileme çalışmalarının uygulanması kullanılan enerjide % 35- 40 oranını da tasarruf sağladığını ve atmosfere CO₂ oranı % 45 daha az salınarak çevreye olumsuz etkisini azalttığını ifade etmektedir [Balaras et al.,2003].

Binalarda iyileştirme yapılmasının amacı [Karaca, 2011];

- Bina ömrünü uzatmak,
- Kullanım değerini arttırmak,
- Kullanıcının değişen ihtiyaçlarını karşılamak,
- Teknolojinin sağladığı yeniliklerden faydalanmak,
- Enerji tüketiminde tasarruf sağlamaktır.

Enerji etkin iyileştirmenin yöntemleri [Karaca, 2011];

- Isıl konforu iklim odaklı pasif yöntemlerle sağlamak,
- Havalandırma ihtiyacını doğal yöntemlerle karşılamak,
- Görsel konforu ihtiyacını gün ışığı gibi pasif kaynak kullanarak karşılamak,
- Diğer konfor ihtiyaçlarında enerji tüketimini minimum düzeyde tutacak elektrik ve mekanik sistemlerle sağlamaktır.

Mevcut binalarda iyileştirme yapılırken problemlerin ve sorunların olduğu alanlar üzerinde yoğunlaşarak ihtiyacı karşılayacak düzeyde analizler yapılması çözüm odaklı bir yaklaşım sergilemektedir. Ayrıca bu yaklaşım maliyet açısından da tasarruf elde ederek verimlilik sağlamış olmaktadır. Çözüm odaklı yaklaşım sergileyen iyileştirme çalışmaları binanın dış ortamla doğrudan ilişkisi bulunan ve dış ortam koşullarına doğrudan maruz kalan bina cephesi sistemlerinde yapılmaktadır.

Bina cephe sistemleri üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları [Tıkrı, 2009];

- Bina cephesinin yıkılıp yeniden yapılması,
- Opak bileşenlerin iyileştirilmesi,
- Saydam bileşenlerin iyileştirilmesi,
- Güneş kontrol elemanlarının kullanılması,
- Bina kabuğuna yenilenebilir enerji kullanımı sağlayan panel sistemlerinin entegre edilmesi,
- Kabuk sistem tasarımının iyileştirilmesidir.

Binalar kullanıldıkça ve ömürlerini tamamladıkça fiziksel olarak yıpranmaktadır. Bu yıpranmalar bina cephelerinde daha yoğun yaşanmaktadır. Binaların ortalama ömürleri 50-100 sene olup cephe sistemlerini oluşturan opak bileşenlerden bir olan duvarların 33 sene, saydam bileşenleri oluşturan camların ise 20,9 senedir [Başarır ve Diri, 2014]. Cephe odaklı iyileştirmelerde binanın taşıyıcı sistemine müdahale edilmeksizin cephe sisteminin bütüncül olarak veya cephe sistemini oluşturan birimlerin tekil olarak iyileştirilmesi yapılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında cephede enerji etkin iyileştirme olarak çift kabuk cephe sistemi kullanılmıştır ve bu sistemi oluşturan saydam bileşenler kapsamında senaryolar oluşturulmuştur.

5.2. Saydam Bileşenlerin Enerji Etkin İyileştirilmesi

Dış ortam ile doğrudan ilişkili olan bina cephelerinin saydam bileşenleri, iklimsel koşullar doğrultusunda iç ortamın ısı konforunu ve görsel konforunu sağlamada etkin rol oynamaktadır. Binalarda enerji performansı, binaların enerji etkin tasarım parametreleri ile inşa edilmesiyle veya mevcut binaların iyileştirmesinin yapılmasıyla sağlanmaktadır.

İklim koşulları göz önüne alınarak saydam bileşenlerde gerçekleştirilen enerji etkin iyileştirmeler binanın enerji verimliliği ve iç ortamda yaşayan bireylerin konforunun sağlanması açısından olumlu sonuçlar vermektedir. Performans; ısı, aydınlatma, gölgeleme ve havalandırma fonksiyonlarıyla sağlanmaktadır [Givoni, 1976].

Bina cephesindeki saydamlık oranı, güneş ışınlamı ve ısı performansını etkilemektedir ve bulunduğu iklime, yönelmeye göre değişmektedir. Saydam

bileşenlerde yapılan iyileştirmeler iklim bölgesinin özelliklerine bağlı olarak camın ısı geçirme katsayısında (U) ve güneş ısı kazanç katsayısında (SGHC) değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenleri etkin kılan; camın türü, kalınlığı, yüzeylerinde kullanılan film tabakaları, cam katmanlar arasındaki boşluk, boşlukta kullanılan gazın cinsi ve çerçevelerin malzeme türü olmaktadır.

Kuzey yarım kürede bulunan tüm iklim bölgelerindeki binaların güney cepheleri diğer cephelere göre güneşin ısı ve ışınımından daha çok faydalanmaktadır. Bu sebeple kış aylarında pasif enerjiden faydalanmak için güney cephedeki saydamlık oranlarının artırılması ısıtma enerjisinde tasarruf sağlamaktadır. Ancak saydamlık oranının artmasıyla iç ortamda görsel konfor açısından kamaşma sorunu yaşanacağından dolayı gölgeleme araçlarının kullanılması sistemin etkinliğini arttırmaktadır. Kuzey yönünden esen soğutucu rüzgârların etkisinden kaçınmak için saydamlık oranının daha az olması gerekmektedir.

Literatürde saydam bileşenlerin enerji etkin olarak iyileştirilmesi üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır.

Mangan ve Oral [2014] “Türkiye’nin Farklı İklim Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin İyileştirilmesi” adlı makale çalışmasında İstanbul’da 2008 yılında TOKİ tarafından yapılan toplu konut projesi kapsamında referans olarak seçilen bir konut için farklı iklim bölgelerine göre enerji etkin iyileştirme senaryoları önermektedir. Bu senaryolarda ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi ve enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ salınımlarını karşılaştırmaktadır.

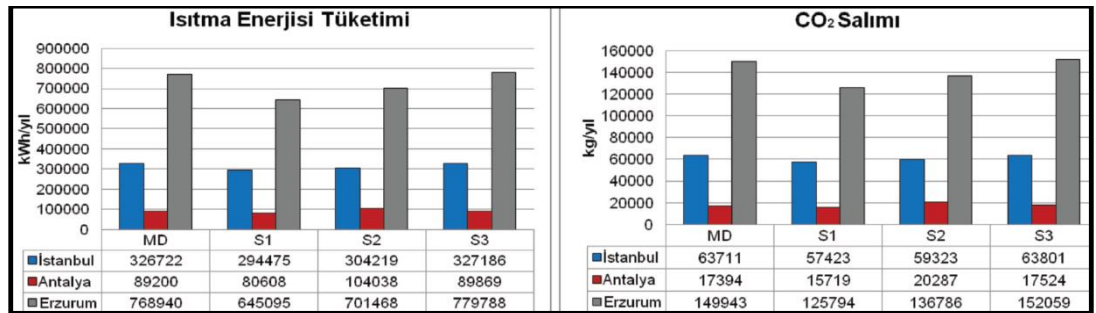
Ilıman-nemli iklim bölgesine ait İstanbul, sıcak-nemli iklim bölgesine ait Antalya, soğuk iklim bölgesine ait Erzurum ili seçilerek iklim değerlendirmesi yapılmıştır. Senaryolar; opak bileşenlerin iyileştirilmesi (S1), mevcut cam sistemlerinin kaplamalı yalıtım cam üniteleriyle değiştirilmesi (S2), güney, doğu ve batı cephelerinde gölgeleme araçlarının kullanılması (S3), yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin entegre edilmesi (S4)’ dir. Saydam bileşenlerin iyileştirilmesi kapsamında S2 senaryosunda mevcut cam kalınlıkları (4 mm + 4 mm), ara boşluk (12 mm) ve doğrama sistemi (PVC) sabit tutulup ara boşluktaki hava yerine argon gazı, 2. ve 3. cam yüzeylere ısı kontrol, ısı ve güneş kontrol sağlayan filtreler yerleştirilerek parametrelerde değişkenlikler sağlamaktadır. Değişkenlik gösteren parametreler iklim bölgelerine göre değerlendirilirken Tablo 5.1’de verilen camın ısı geçirme katsayısı (U_{cam}), çerçeve ve cam özelliklerine bağlı saydam

bileşen ısı geçirme katsayısı (U_p) ve güneş ısı kazanç katsayısının (SHGC) değerleri dikkate alınmaktadır [Mangan ve Koçlar Oral, 2014].

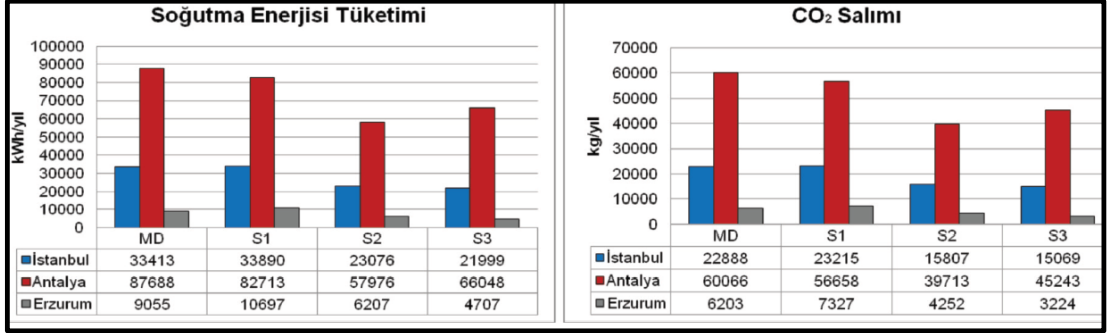
Tablo 5.1: S2’deki saydam bileşene ait parametre değerleri.

İklim Bölgesi/ Temsili il	Saydam Bileşen değişkeni	U cam (W/m ² K)	U _p (W/m ² K)	SHGC
Ilımlı-nemli (İstanbul)	- 4 mm (ısı kontrol kaplama $e_2=0.04$) - 12 mm Argon gazı - 4 mm düz cam	1,364	1,5	0,433
Sıcak-nemli (Antalya)	- 4 mm (ısı ve güneş kontrol kaplama $e_2=0.02$) - 12 mm Argon gazı - 4 mm düz cam	1,321	1,5	0,296
Soğuk (Erzurum)	- 4 mm (ısı kontrol kaplama $e_3=0.03$) - 12 mm Argon gazı - 4 mm düz cam	1,345	1,5	0,515

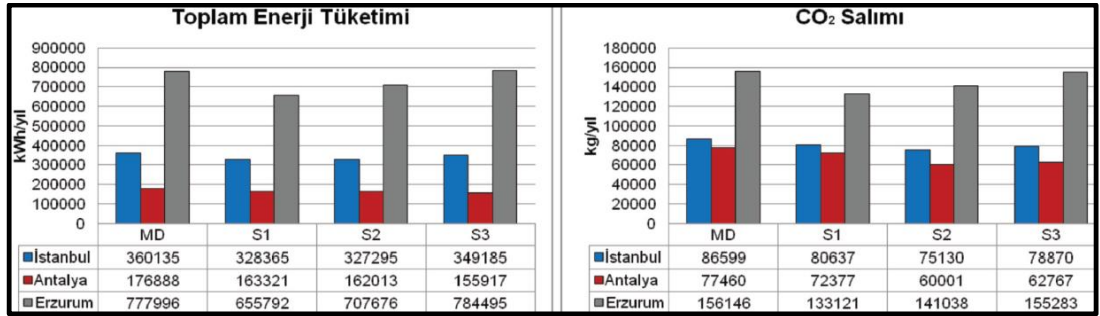
Simülasyon sonucu elde edilen ısıtma, soğutma, toplam enerji tüketimi ve elektrik enerji tüketim miktarları ve bu tüketimlerin her birine ait CO₂ salınım değerlerinin verileri Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’ de verilmektedir [Mangan ve Koçlar Oral, 2014].



Şekil 5.1: S1, S2, S3 ve M.D. için yıllık ısıtma enerji tüketimi ve CO₂ salım değerleri.



Şekil 5.2: S1, S2, S3 ve M.D. için yıllık soğutma enerji tüketimi ve CO₂ salım değerleri.



Şekil 5.3: S1, S2, S3 ve MD için yıllık toplam enerji tüketimi ve CO₂ salım değerleri.

S1 ve S2'nin sonuçları değerlendirildiğinde ılımlı nemli iklim bölgesi olan İstanbul ve soğuk iklim bölgesi olan Erzurum için ısıtma enerjisi tüketim değerleri mevcut durumun enerji tüketim değerine kıyasla azalma göstermektedir. Sıcak-nemli iklim bölgesi olan Antalya için ısıtma enerjisi tüketim değeri mevcut enerji tüketim değerine kıyasla S1'de azalma göstermektedir.

İstanbul ve Erzurum için soğutma enerjisi tüketim değeri mevcut durumun enerji tüketim değerine kıyasla, S1'de artma S2 ve S3'de ise azalma görülmektedir. Antalya için soğutma enerjisi tüketim değeri mevcut durum enerji tüketim değerine göre azalma göstermektedir.

İstanbul ve Antalya için önerilmiş tüm senaryolarda toplam enerji tüketim değerleri mevcut durum toplam enerji tüketim değerine kıyasla azalma göstermektedir. Erzurum için, S1 ve S2 durumları mevcut duruma kıyasla azalma göstermektedir.

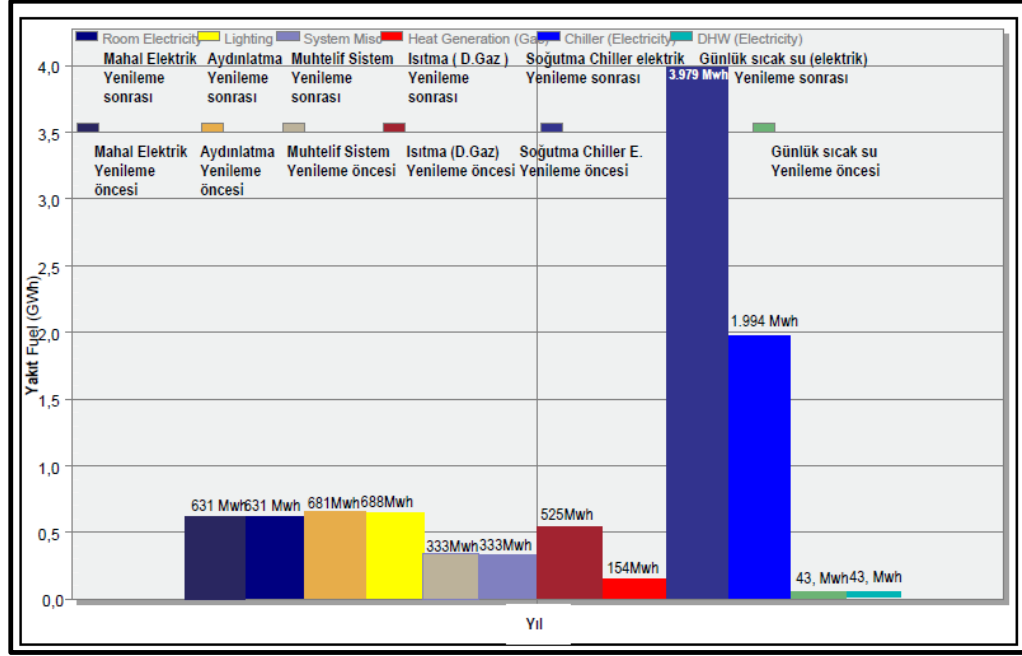
Karaca [2011], "İstanbul'da Mevcut Bir Büro Yapısının Enerji Etkin Yenilemesi" adlı yüksek lisans tez çalışmasında İstanbul'da mevcut bir ofis binasının enerji tüketimini ve CO₂ salınımını azaltmaya yönelik iyileştirme senaryoları

oluşturmaktadır ve simülasyon aracıyla elde edilen verileri değerlendirmektedir. İyileştirme senaryoları;

- S1: Opak bileşenlerde iyileştirme,
- S2: S1 + saydam bileşenlerde iyileştirme
- S3: S1 + S2+ güneş kontrolü,
- S4: S1 + S2+ S3+ saydamlık oranının azaltılması,
- S5: S1 + S2+ S3+ S4+HVAC sistem alternatifidir.

S2 senaryosu, S1 senaryosunda yapılan opak bileşenlerde iyileştirme çalışmasına ilave olarak saydam bileşenlerde de iyileştirme çalışmasının yapılmasıyla oluşmaktadır. Binanın güney, güneydoğu ve batı yönlerinde bulunan saydam cephe açıklıkları daha az, kuzey ve kuzeybatı yönlerindeki saydam cephe açıklıkları daha yoğundur. Saydam bileşenlerde çift katmanlı yansıtıcı kaplamalı camlar ve cam katmanlar arasında U değeri 3,16 W/m²K olan hava dolgusu kullanılmaktadır. Doğrama için ısı bariyersiz, yalıtımsız ve U değeri 5,88 W/m²K olan alüminyum malzeme kullanılmaktadır. İyileştirme çalışmasında her biri 13 mm'lik aralarında argon gazı bulunan 3 katmanlı, low-e ve yansıtıcı özelliklere sahip, U değeri 1,32 W/m²K, görünür ışık geçirgenlik oranı 0,120 olan cam türleri, doğramalarda ise EPS ısı izolasyonlu ve PVC ısı bariyerine sahip U değeri 0,9 – 1,6 W/m²K aralığına sahip alüminyum doğramalar kullanılmaktadır. Bu iyileştirme sonucu, mevcut duruma kıyasla ısıtma için toplam enerji tüketiminden % 62, soğutma için % 50 oranında tasarruf sağlanmaktadır. Ancak aydınlatma için enerji tüketiminde bir değişim gözlenmemektedir [Karaca, 2011].

Şekil 5.4'teki görselde S2 senaryosuna ait uygulama öncesinde ve sonrasında tüketilen enerji miktarlarının karşılaştırması grafiksel olarak ifade edilmektedir.



Şekil 5.4: S2 senaryosuna ait enerji tüketimlerinin yenileme öncesi ve sonrası değerlerinin karşılaştırması.

Özbalta ve Yıldız [2019], “Sıcak-Nemli İklimde Çift Kabuk Cephe Enerji Performansının İncelenmesi” adlı makale çalışmasında, sıcak-nemli iklime sahip İzmir’de bulunan üniversite bünyesinde yer alan ofis binasının çift kabuk cephe sistemiyle iyileştirmesi ve saydam bileşenlerde farklı cam türlerinin kullanılmasıyla soğutma yükünün performansı incelenmektedir. İyileştirme, ofis binasının 1. ve 2. katın güney cephesindeki yapılmaktadır. 1. kat mevcut referans cephe olup, iyileştirme 2. katta uygulanmaktadır. Farklı ısı geçirgenlik katsayısı (U) ve güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) değerine sahip 6 farklı cam türü kullanılmaktadır. Bunlar;

- Mavi cam (tek cam),
- Tentesol mavi cam,
- Tentesol mavi titanyum,
- Mavi cam (çift cam),
- Solar Low-e cam,
- Tentesol mavi cam (çift cam).

Cam çerçevelerinde yalıtımsız alüminyum doğrama ve cam tipi olarak çift tabakalı cam (4–12–4 mm) kullanılmaktadır [Göksal Özbalta ve Yıldız, 2019].

Çalışmada kullanılan cam türlerinin optik ve termofiziksel özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Cam türlerinin optik ve termofiziksel özelliklerine ait değerler.

Senaryo	Tanım	Gün ışığı geçirgenliği (%)	U-değeri (W/m ² K)	SHGC (%)
Mevcut dış cam	Düzcam 4mm renksiz	90	5,8	87
Mevcut iç cam	Düzcam 4-12-4mm renksiz	82	2,9	78
S1	DüzcamMavi6mm	56	5,7	55
S2	TentesolMavi 6 mm	23	5,7	38
S3	TentesolMavi Titanyum 6 mm	39	5,7	45
S4	Düzcam Mavi 6-13-6mm	20	2,8	44
S5	Solar Low-E Cam 6-13-6mm	70	1,5	42
S6	TentesolMavi 6-13-6mm	21	2,8	27

Çalışmadaki iyileştirme senaryoları ve sonuçlarının değerlendirilmesi Tablo 5.3’te ve Tablo 5.4’te ifade edilmektedir.

Tablo 5.3: Birinci durumdaki senaryoların karşılaştırması.⁶

Mevcut Durumdaki Çift Kabuk Cephe Sistemi	→ DIŞ CAM: Renksiz Düz Cam (4 mm) (U:5,8 SHGC:87) → İÇ CAM: Renksiz Düz Cam (4-12-4 mm) (U: 2,9 SHGC: 78)		
DIŞ CAM (Sabit)	SENARYOLAR	İÇ CAM (Değişken)	SONUÇ
Renksiz Düz Cam (4 mm) (U: 5,8 SHGC: 87)	S1	Mavi cam (Tek tabakalı cam) (U: 5,7 ↑ SHGC: 55 ↓)	Soğutma Yüğü % 8,1 ARTMIŞTIR
	S2	Tentesol mavi cam (Tek tabakalı cam) (U: 5,7 ↑ SHGC: 38 ↓)	Soğutma Yüğü % 1,4 ARTMIŞTIR
	S3	Tentesol mavi titanyum cam (Tek tabakalı cam) (U: 5,7 ↑ SHGC: 45 ↓)	Soğutma Yüğü % 7,4 ARTMIŞTIR
	S4	Mavi cam (Çift tabakalı cam) (U: 2,8 ↓ SHGC: 44 ↓)	Soğutma Yüğü % 4,1 AZALMIŞTIR
	S5	Solar low-e cam (Çift tabakalı cam) (U: 1,5 ↓ SHGC: 42 ↓)	Soğutma Yüğü % 4,9 AZALMIŞTIR
	S6	Tentesol mavi cam (Çift tabakalı cam) (U: 2,8 ↓ SHGC: 44 ↓)	Soğutma Yüğü % 13,6 AZALMIŞTIR

⁶ Tablo 5.3, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından (Göksal Özbalta & Yıldız, 2019) kaynağından esinlenerek düzenlenmiştir.

Tablo 5.4: İkinci durumdaki senaryoların karşılaştırması.⁷

Mevcut Durumdaki Çift Kabuk Cephe Sistemi	→ DIŞ CAM: Renksiz Düz Cam (4 mm) (U:5,8 SHGC:87) → İÇ CAM: Renksiz Düz Cam (4-12-4 mm) (U: 2,9 SHGC: 78)		
İÇ CAM (Sabit)	SENARYOLAR	DIŞ CAM (Değişken)	SONUÇ
Renksiz Düz Cam (4 -12-4 mm) (U: 2,9 SHGC: 78)	S1	Mavi cam (Tek tabakalı cam) (U: 5,7 ↓ SHGC: 55 ↓)	Soğutma Yüğü % 7,1 AZALMIŞTIR
	S2	Tentesol mavi cam (Tek tabakalı cam) (U: 5,7 ↓ SHGC: 38 ↓)	Soğutma Yüğü % 25 AZALMIŞTIR
	S3	Tentesol mavi titanyum cam (Tek tabakalı cam) (U: 5,7 ↓ SHGC: 45 ↓)	Soğutma Yüğü % 19 AZALMIŞTIR
	S4	Mavi cam (Çift tabakalı cam) (U: 2,8 ↓ SHGC: 44 ↓)	Soğutma Yüğü % 18,7 AZALMIŞTIR
	S5	Solar low-e cam (Çift tabakalı cam) (U: 1,5 ↓ SHGC: 42 ↓)	Soğutma Yüğü % 17,6 AZALMIŞTIR
	S6	Tentesol mavi cam (Çift tabakalı cam) (U: 2,8 ↓ SHGC: 44 ↓)	Soğutma Yüğü % 30,4 AZALMIŞTIR

Sonuç olarak, iç camların U değerlerinin düşük olması dış ortamdan iç ortama ısı geçişini azaltarak soğutma yükünü azaltmaktadır. İç cam değişiminde SHGC değerinin iç ortam sıcaklığına etkisi daha az görülmektedir. Dış camların SHGC değerlerinin düşük olması iç ortama ısı geçişini azaltarak soğutma yükünü azaltmaktadır. Dış cam değişiminde U değerinin iç ortam sıcaklığında etkisi daha az olmaktadır.

Bakkal [2019], “Eğitim Binalarında Çift Kabuk Cephe Sistemleri Kullanımlarına Bağlı Enerji Etkin İyileştirme Örnekleri” adlı yüksek lisans çalışmasında Samsun’daki eğitim binasının iklim koşullarına göre bina kabuğunda iyileştirmelerin yapılması amaçlanmaktadır. Binada dersliklerin bulunduğu her iki cepheye ikinci bir kabuk önerilerek kat yüksekliğinde çift kabuk cephe sistemi seçilmektedir. Mevcut projede opak yüzeyleri oluşturan dış ve iç duvarların gövde malzemesi tuğladan oluşmaktadır. Saydam yüzeyler de PVC doğrama ve hava dolgulu çift tabakalı (4 mm+12 mm+4 mm) camdan oluşmaktadır [Bakkal, 2019].

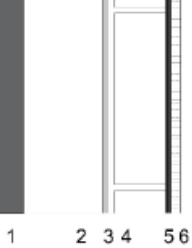
İyileştirme çalışmalarında mevcut cephenin önüne 3 farklı öneri oluşturulmaktadır. Bunlar;

- Öneri 1: Çift kabuk cam cephe,
- Öneri 3: Çift kabuk cam cephe + PV panel uygulamalı cephe,
- Öneri 3: Çift kabuk cam + Panel sistem yeşil cephe.

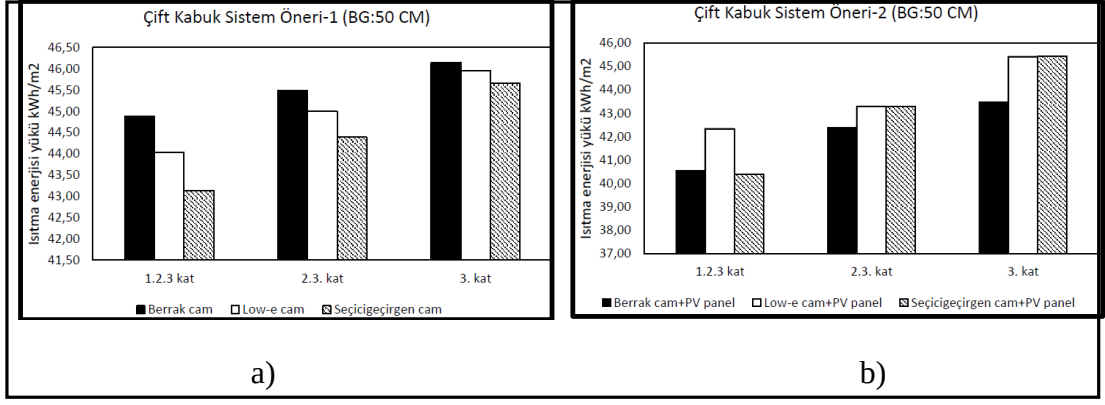
⁷ Tablo 5.4, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından (Göksal Özbalta & Yıldız, 2019) kaynağından esinlenerek düzenlenmiştir.

Bu öneriler dersliklerin bulunduğu cephelere uygulanmaktadır. Çalışmada değişken kabul edilen parametreler Tablo 5.5'te ifade edilmiştir.

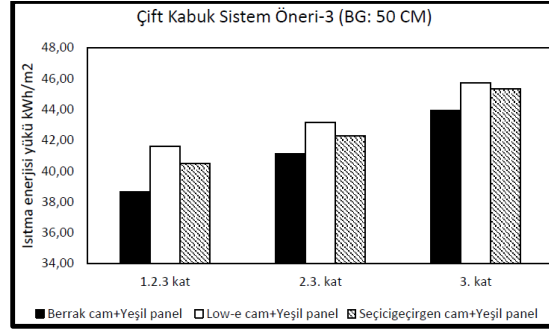
Tablo 5.5: Öneriler ve parametre değişkenleri.

Öneriler		Parametreler			Cephe yüzeyinde uygulanması	
Öneri 1: Çift kabuk cam cephe		Cam tipi	Boşluk genişliği	Uygulanacak katlar	Opak kısım	Saydam kısım
 1 2 3	1.Mevcut duvar 2.Boşluk 3.Tek katman cam cephe	Berrak cam Low-e kaplamalı cam Seçici geçirgen cam	50 cm 100 cm 150 cm	1K+2K+3K 2K+3K 3K	Cam yüzey	Cam yüzey
Öneri 2: Çift kabuk cam+ PV panel uygulamalı cephe		Cam tipi	Boşluk genişliği	Uygulanacak katlar	Opak kısım	Saydam kısım
 1 2 3 4 5	1.Mevcut duvar 2.Boşluk 3.Tek katman cam cephe 4.Boşluk 5.PV panel	Berrak cam Low-e kaplamalı cam Seçici geçirgen cam	50 cm 100 cm 150 cm	1K+2K+3K 2K+3K 3K	Cam yüzey + PV Panel	Cam yüzey
Öneri 3: Çift kabuk cam+ panel sistem yeşil cephe		Cam tipi	Boşluk genişliği	Uygulanacak katlar	Opak kısım	Saydam kısım
 1 2 3 4 5 6	1.Mevcut duvar 2.Boşluk 3.Tek katman cam cephe 4.Taşıyıcı strüktür 5.Bitki modülü 6. Bitkilendirme	Berrak cam Low-e kaplamalı cam Seçici geçirgen cam	50 cm 100 cm 150 cm	1K+2K+3K 2K+3K 3K	Cam yüzey + Panel sistem yeşil cephe	Cam yüzey

Uygulamanın enerji yüklerine etkisini belirlenmek için ısıtma, soğutma, aydınlatma ve yıllık birincil enerji tüketimleri hesaplanmaktadır. Binanın ısıtma enerji yükü hesaplanarak Şekil 5.5'te ve Şekil 5.6'da grafiksel olarak ifade edilmektedir.



Şekil 5.5: a) Öneri 1 ve b) Öneri 2’de cam türlerinin ısıtma enerji yüklerinin karşılaştırması.



Şekil 5.6: Öneri 3’de cam türlerinin ısıtma enerji yüklerinin karşılaştırması.

Bu hesaplamalar sonucunda öneri 1, öneri 2 ve öneri 3’ün ısıtma enerjisinde etkin olduğu parametreler Tablo 5.6’da verilmektedir.

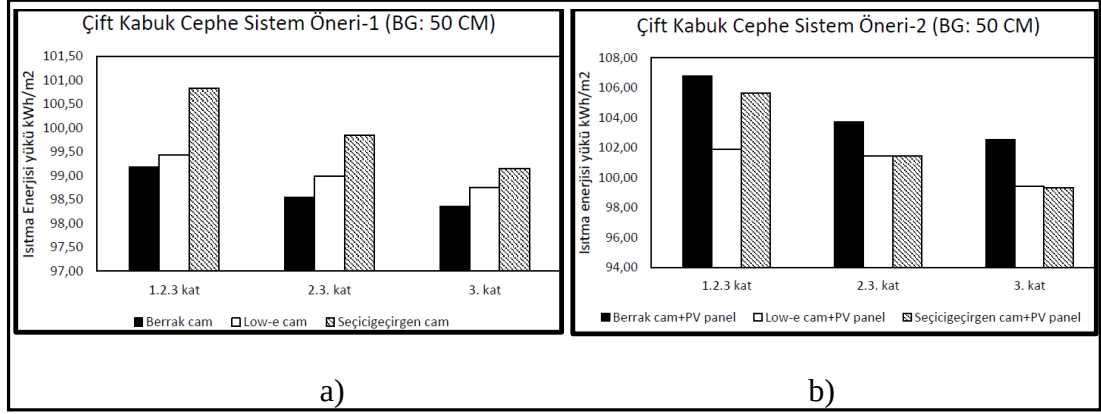
Tablo 5.6: Isıtma performansında etkinlik gösteren parametreler ve değerleri.⁸

	ÖNERİ-1	ÖNERİ-2	ÖNERİ-3
CAM TİPİ	Low-e	Seçici Geçirgen	Berrak
BOŞLUK	100 cm	50 cm	50 cm
UYGULANACAK KATLAR	1-2-3	1-2-3	1-2-3

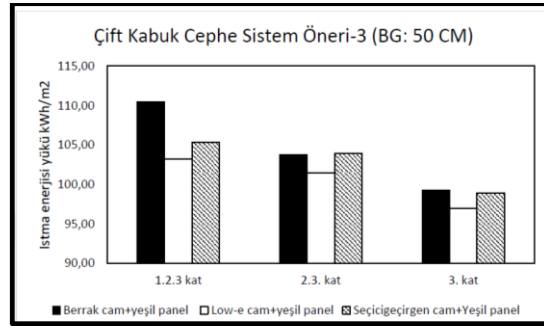
Sonuç olarak, üç farklı önerinin ısıtma enerjisi için verdiği değerler mevcut duruma göre daha etkin performans sağlamaktadır.

⁸ Tablo 5.6, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından (Göksal Özbalta & Yıldız, 2019) kaynağından esinlenerek düzenlenmiştir.

Çalışmada kullanılan cam türlerinin soğutma enerji yükleri hesaplanarak Şekil 5.7’de ve Şekil 5.8’de grafiksel olarak verilmektedir.

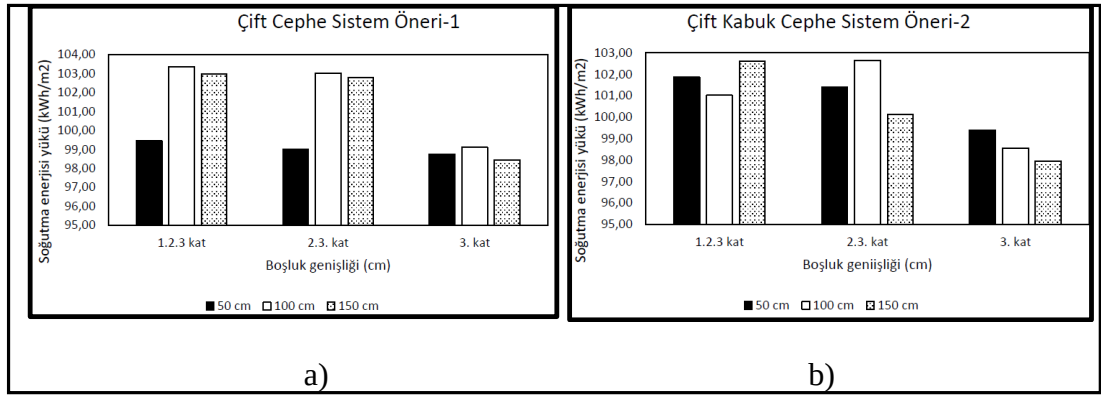


Şekil 5.7: a) Öneri 1 ve b) Öneri 2’de cam türlerinin soğutma enerji yüklerinin karşılaştırması.

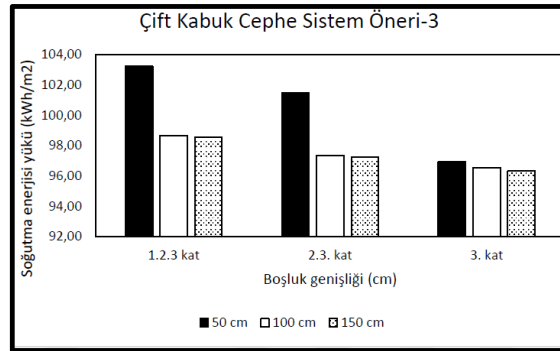


Şekil 5.8: Öneri 3’deki cam türlerinin soğutma enerji yüklerinin karşılaştırması.

Çalışmada değişken olarak ele alınan cam boşluğunun genişliğine göre low-e cam senaryolarının soğutma enerji yük değerleri hesaplanarak Şekil 5.9’da ve Şekil 5.10’da karşılaştırmalı olarak grafiksel verilmektedir.



Şekil 5.9: a) Öneri 1 ve b) Öneri 2’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının soğutma enerji yükleri karşılaştırması.



Şekil 5.10: Öneri 3’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının soğutma enerji yüklerinin karşılaştırması.

Öneri 1, öneri 2 ve öneri 3’ün soğutma enerji tüketiminde etkin performans gösteren parametrelerin özellikleri Tablo 5.7’de verilmektedir.

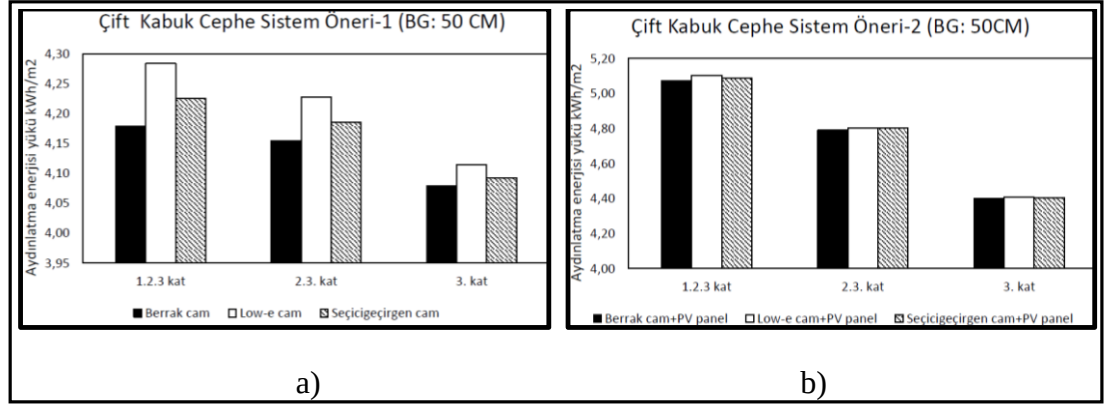
Tablo 5.7: Soğutma performansında etkinlik gösteren parametreler ve değerleri.⁹

	ÖNERİ-1	ÖNERİ-2	ÖNERİ-3
CAM TİPİ	Low-e	Low-e	Seçici Geçirgen
BOŞLUK	150 cm	150 cm	100 cm
UYGULANACAK KATLAR	3	3	3

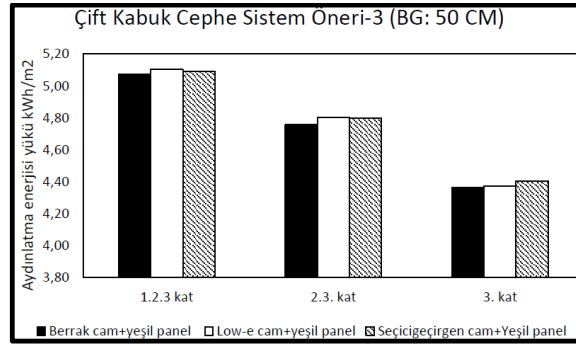
Sonuç olarak, üç farklı önerinin soğutma enerjisi için verdiği değerler mevcut duruma göre enerji yükünde artışa neden olmaktadır. Cam tabakalar arasındaki boşluk genişliğinin artması enerji etkinliğini sağlamaktadır.

⁹ Tablo 5.7, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından (Göksal Özbalta & Yıldız, 2019) kaynağından esinlenerek düzenlenmiştir.

Çalışmada kullanılan cam türlerinin aydınlatma enerji yükleri hesaplanarak Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de karşılaştırmalı olarak grafiksel verilmektedir.

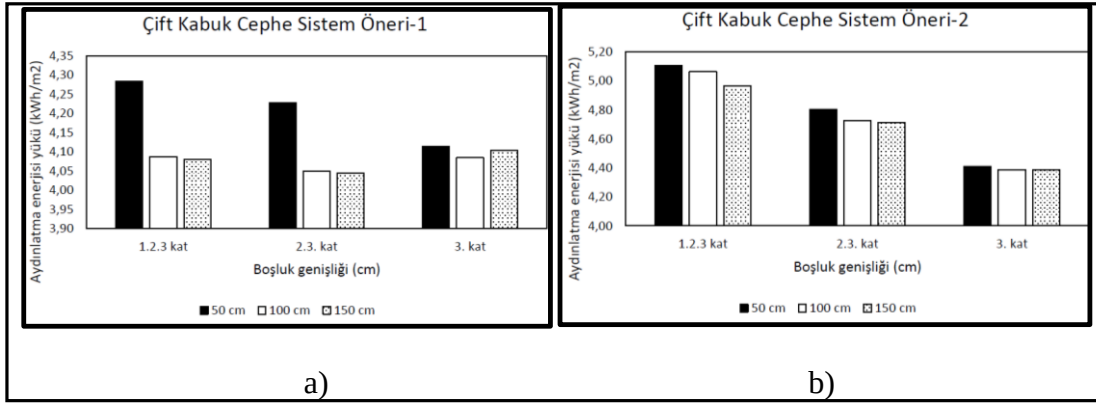


Şekil 5.11: a) Öneri 1 ve b) Öneri 2 için cam türlerine göre aydınlatma enerji yüklerinin karşılaştırması.

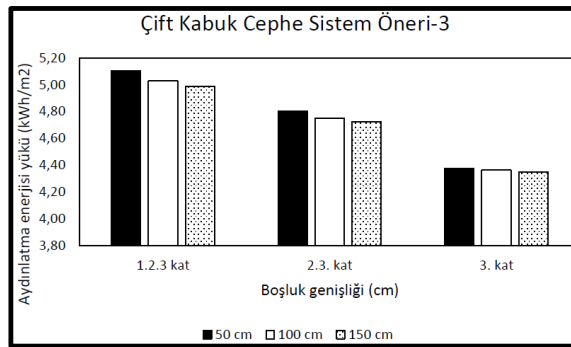


Şekil 5.12: Öneri 3’de cam türlerine göre aydınlatma enerji yüklerinin karşılaştırması.

Çalışmada değişken olarak ele alınan cam boşluğunun genişliğine göre low-e cam senaryolarının aydınlatma enerji yük değerleri hesaplanarak Şekil 5.13’te ve Şekil 5.14’te grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.13: a) Öneri 1 ve b) Öneri 2’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının aydınlatma enerji yüklerinin karşılaştırması.



Şekil 5.14: Öneri 3’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının aydınlatma enerji yüklerinin karşılaştırması.

Öneri 1, öneri 2 ve öneri 3’ün aydınlatma enerji tüketiminde etkin performans gösteren parametrelerin özellikleri Tablo 5.8’de verilmektedir.

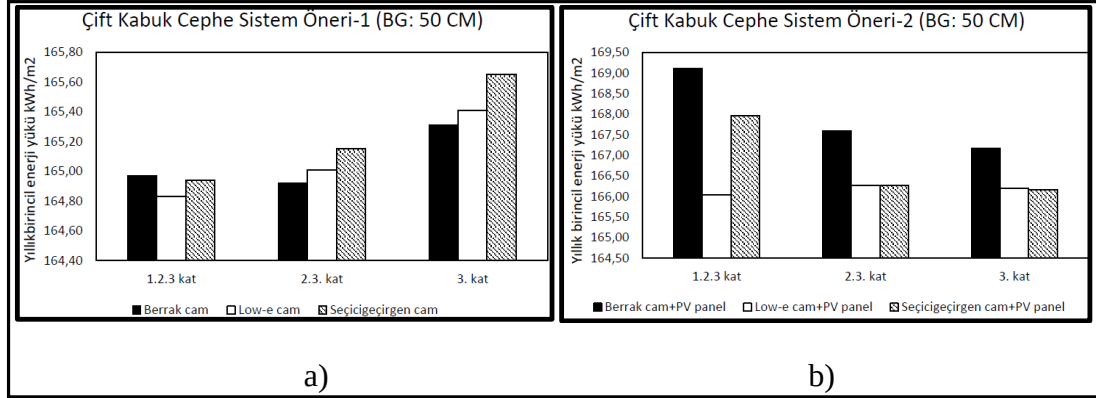
Tablo 5.8: Aydınlatma performansında etkinlik gösteren parametreler ve değerler.¹⁰

	ÖNERİ-1	ÖNERİ-2	ÖNERİ-3
CAM TİPİ	Low-e	Berrak	Berrak
BOŞLUK	150 cm	150 cm	150 cm
UYGULANACAK KATLAR	3	3	3

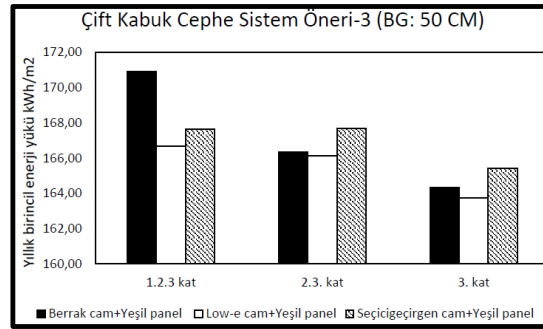
¹⁰ Tablo 5.8, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından (Göksal Özbalta & Yıldız, 2019) kaynağından esinlenerek düzenlenmiştir.

Sonuç olarak, üç farklı önerinin aydınlatma performansı için verdiği değerler mevcut duruma göre enerji yükünde artışa neden olmaktadır. Cam tabakalar arasındaki boşluk genişliğinin artması enerji etkinliğini sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan cam türlerinin yıllık birincil enerji yük değerleri hesaplanarak Şekil 5.15'te ve Şekil 5.16'da karşılaştırmalı olarak grafiksel verilmektedir.

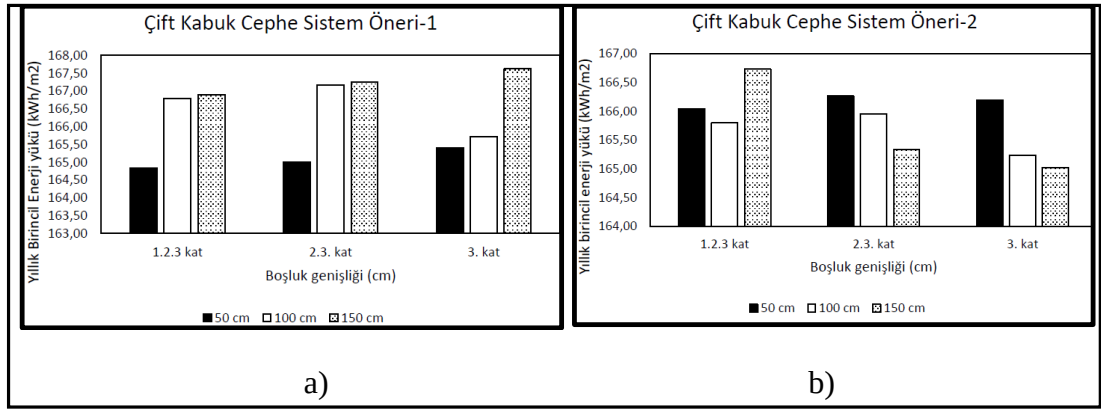


Şekil 5.15: a) Öneri 1 ve b) Öneri 2’de cam türlerinin yıllık birincil enerji yüklerinin karşılaştırması.

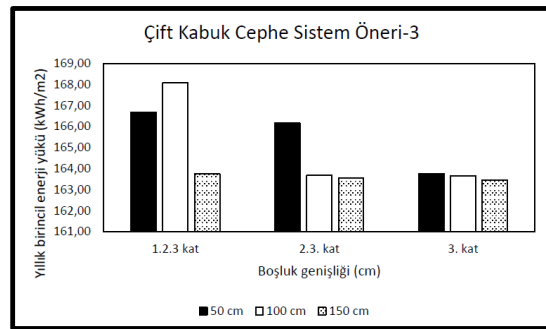


Şekil 5.16: Öneri 3’de cam türlerinin yıllık birincil enerji yüklerinin karşılaştırması.

Çalışmada değişken olarak ele alınan cam boşluğunun genişliğine göre low-e cam senaryolarının yıllık birincil enerji yüklerinin değerleri hesaplanarak Şekil 5.17’de ve Şekil 5.18’de karşılaştırmalı olarak grafiksel ifade edilmektedir.



Şekil 5.17: a) Öneri 1 ve b) Öneri 2’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının yıllık birincil enerji yüklerinin karşılaştırması.



Şekil 5.18: Öneri 3’de boşluk genişliğine göre low-e cam senaryolarının yıllık birincil enerji yüklerinin karşılaştırılması.

Öneri 1, öneri 2 ve öneri 3’ün yıllık birincil enerji tüketiminde etkin performans gösteren parametrelerin özellikleri Tablo 5.9’da verilmektedir.

Tablo 5.9: Yıllık birincil enerji performansında etkinlik gösteren parametreler ve değerleri. ¹¹

	ÖNERİ-1	ÖNERİ-2	ÖNERİ-3
CAM TİPİ	Berrak	Low-e	Seçici Geçirgen
BOŞLUK	50 cm	150 cm	150 cm
UYGULANACAK KATLAR	3	3	3

Sonuç olarak, üç farklı önerinin yıllık birincil enerji performansı için verdiği değerler mevcut duruma göre enerji yükünde artışa neden olmaktadır.

¹¹ Tablo 5.9, Nevriye Sümeyye Kavak tarafından (Göksal Özbalta & Yıldız, 2019) kaynağından esinlenerek düzenlenmiştir.

5.3. Çift Kabuk Cephe Kullanımına Bağlı Enerji Etkin İyileştirme

Bina cephelerinde enerji etkin iyileştirme yöntemi olarak çift kabuk cephe sistemleri tercih edilmektedir. Bu iyileştirmede mevcut saydam yüzeyin önüne hava boşluğu bırakacak şekilde ikinci bir saydam yüzeyin eklenmesiyle olmaktadır. Oluşturulan bu sistem kurgusu cephede kullanılan çift kabuk sistem çeşitlerine göre değişkenlik göstermektedir. Ayrıca bu iyileştirmede iklim koşulları dikkate alınarak çift kabuk cephe sistem parametre değerlerinin belirlenmesi enerji yüklerinin kontrolü sağlamak açısından önemli bir kriterdir.

Çift kabuk cephe sisteminin kullanımına bağlı iyileştirmede değişkenlik gösteren parametreler;

- Kabuklarda kullanılan cam türleri ve kalınlığı,
- Cam tabakalar arasındaki boşluğun genişliği ve boşlukta kullanılan gaz türü,
- Kabuklar arasındaki hava boşluğunun genişliği,
- Gölgeleme araçlarının kullanılması ve konumlandırıldığı yer,
- Cephe sisteminin kullanıldığı yön ve kat aralığı.

Çift kabuk cephe sisteminde iyileştirme çalışmaları genel olarak cephe yüzeyini oluşturan saydam bileşenlerde yapılmaktadır. Bu yüzeyleri oluşturan cam türleri seçilirken iklim koşullarına bağlı olarak optik, termofiziksel ve boyutsal özellikleri dikkate alınmaktadır.

Literatür çalışmalarında bina kabuklarının enerji etkin olarak iyileştirilmesinde daha çok çift kabuk cephe sistemleri tercih edilmektedir. Mevcut binaların kabuk sistemleri ihtiyaç modeline göre tamamen veya kısmen çift kabuk sistemlerle iyileştirilmektedir.

Başarır ve Diri [2014], “Bina Cephelerinin Yenilenmesinde Kullanılan Stratejiler” adlı makale çalışmasında ele aldığı stratejilerde çift kabuk cephe sistemi uygulamasına yönelik iyileştirme çalışmaları mevcut cephenin dış yüzeyine ek kabuk uygulanması veya iç yüzeyine ek kabuk uygulanması ele alınmaktadır. Cephenin dış yüzeyine ek kabuk uygulamasında cam ünitesi veya yalıtımlı paneller eklenmektedir. Bu ek kabuk, iç kabuk ile arasına hava boşluğu oluşturarak doğal havalandırma sağlamaktır. Ayrıca dışarıdan gelen gürültüyü engelleyerek akustik performansı da

olumlu yönde etkilemektedir. Diğer bir uygulama olan cephenin iç yüzeyine ek kabuk uygulamasının yapılmasıyla kabuklar arasında hava boşluğu oluşturarak ısı yalıtımı sağlamaktır. Bu yöntem binanın enerji performansını olumlu yönde etkilemektedir. Ancak mimari açıdan iç ortamda alan küçülttüğünden dolayı tercih edilmemektedir [Başarır ve Diri, 2014].

Sonuç olarak çift kabuk cephe sistemlerinin kullanılması yaz ve kış mevsimlerinde enerji tüketimi konusunda tasarruf sağlamaktadır. Ancak yaz aylarında üst katlarda fazla ısınma problemi için mekanik havalandırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kamaşma problemlerinin yaşanmaması için gölgeleme araçları ve cam türlerinin optik, termofiziksel özellikleri dikkate alınarak tercih yapılmalıdır.

Ölmez [2013], “Çok Katlı Ofis Yapılarında Camlı Yüzeyin Isıl Performansının Arttırılmasına Yönelik İyileştirme Alternatiflerinin İrdelenmesi” adlı yüksek lisans çalışmasında sürdürülebilirlik kavramı doğrultusunda Ankara ilindeki bir ofis binasının cephe kabuğunun iyileştirmesi yapılmaktadır. Çalışmada mevcut durum, mevcut tek katmanlı cephe iyileştirmesi ve koridor tipi çift kabuk sistem iyileştirmesinin yapılması amaçlanmaktadır. Çalışmanın sonunda iyileştirmeler sonucu elde edilen verilerle ısıl performans ve ilk yatırım bedelinin geri ödeme süreci açısından en iyi performansı sağlayan öneriler sunulmaktadır ve cephe iyileştirmesi için farklı parametrelerin alternatifleri değerlendirilmektedir. Analizler kuzeydoğu, güneybatı ve kuzeydoğu - güneybatı cephelerinde uygulanmasıyla değerlendirilmektedir. Çift kabuğun iç ve dış cephesinde kullanılan cam türleri, havalandırma boşluğunun genişliği ve bu boşlukta kullanılan güneş kontrol elemanının analizi yapılmaktadır. Simülasyonda kullanılan cam türleri;

- Durum 0: Hava boşluklu mavi reflektif çift katmanlı cam,
- Durum 1: Argon gazlı Low-e üç katmanlı cam,
- Durum 2: Argon gazlı elektrokromik cam,
- Durum 3: Argon gazlı mavi reflektif kaplamalı Low-E çift katmanlı cam,
- Durum 4: Argon gazlı Low-e çift katmanlı cam,
- Durum 5: Argon gazlı iklim kontrollü nötral70 çift katmanlı cam,
- Durum 6: Argon gazlı seçici geçirgen Low-E cam.

Sonuç olarak, mevcut durumdaki binanın yalnızca kuzeydoğu yönündeki cam türleri durum-3 ile değiştirildiğinde mevcut durumun yıllık enerji tüketim maliyetinden %3.52 oranında kar elde edilmektedir. Bu elde edilen kar oranı ilk yatırım bedelini en iyi değerde karşılamaktadır. Güneybatı yönündeki cam türleri durum-3 ile değiştirildiğinde mevcut durumun yıllık enerji tüketim maliyetinden %3.29 oranında kar elde edilmiştir. Kuzeydoğu ve güneybatı yönündeki cam türleri durum-3 ile değiştirildiğinde yıllık enerji tüketim maliyetinden %4.27 oranında kar edilmektedir. Ancak bu uygulama ilk yatırım maliyetini arttırmaktadır. Diğer bir iyileştirme yöntemi olarak mevcut cephenin koridor tipi çift kabuk cepheyle iyileştirmesidir. Bu iyileştirme yönteminde kuzeydoğu cephesinin iç camında durum-4'teki cam türünün kullanılması yıllık enerji tüketiminde karı, ilk yatırım bedeli ve gün ışığı geçirilmede en iyi performans sağlamaktadır. Dış cephede yıllık enerji tüketimde en çok kar sağlayan durum-1'de kullanılan cam türüdür. İlk yatırım bedelini geri ödeme süresinde durum-4 ve durum-6'daki cam türleri 14 yılda karşılayarak diğer cam türlerine göre daha iyi sonuç vermektedir. Gün ışığı geçirgenliğinde ise 12 mm'lik düz cam daha iyi performans sağlamaktadır. Hava boşluğunun genişliği 50, 100, 150 ve 200 cm olarak ele alınıp değerlendirilmektedir. Bu durum sonucunda yıllık enerji tüketimde hava boşluğunun 150 cm genişliğinde olması kar oranında artış göstermektedir. Yalnız hava boşluğunun 50 cm olma durumu ilk yatırım bedelini 10 yılda karşılamaktadır ve diğer durumlara göre daha iyi performans göstermektedir. Bu senaryoda iyi performans gösteren parametre değerleri;

- Dış cephe cam türü: 12 mm düz cam,
- İç cephe cam türü: Argon gazlı low-e çift tabakalı cam (6mm+12mm+6mm),
- Hava boşluk derinliği: 50 cm,
- Güneş kontrol elemanı: Yok,
- Mevcut duruma göre yıllık enerji tüketim maliyet kar oranı: % 33.74,
- İlk yatırım bedeli geri ödeme süresi: 10 yıl.

Güneybatı cephesinde ise mevcut duruma göre maksimum kazanç sağlayan parametre değerleri;

- Dış cephe cam türü: 12 mm düz cam,
- İç cephe cam türü: Argon gazlı low-e çift tabakalı cam (6mm+12mm+6mm),
- Hava boşluk derinliği: 50 cm,
- Güneş kontrol elemanı: 3 adet 45° açılı,
- Mevcut duruma göre yıllık enerji tüketim maliyet kar oranı: % 34.37,
- İlk yatırım bedeli geri ödeme süresi: 10 yıl.

olarak sonuca varılmaktadır.

Çift kabuk cephe iyileştirmesinin her iki yönde beraber kullanılması sonucu elde yıllık enerji tüketim oranı % 35.25 oranındadır. İlk yatırım bedelinin ise 20 yılda karşılandığı ortaya çıkmıştır. Çalışmada ele alınana iyileştirme senaryolarından ısı performans en iyi oranda karşılayan güneybatı yönünde uygulanan çift kabuk cephe sistem kurgusudur. Ayrıca iyileştirme yapılırken binanın mevcut mekanik sisteminde hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Bu duruma rağmen yıllık enerji tüketiminde yaklaşık olarak % 35 oranında bir performans kazancı sağlanmıştır [Ölmez, 2013].

Bu çalışmanın sonucunda binaların tasarım aşamasında mimar ve mühendislerin ortak çalışmaları sonucu alınan kararların ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Binalarda iklim koşullarına göre cephe yönelimlerinin de önem kazandığı ve seçilen malzemelerin bu bağlamda değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Çetiner [2002], “Çift Kabuk Cam Cephelerin Enerji Ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım” adlı doktora tezinde İstanbul/Göztepe’de bulunan bir ofis binası enerji ve maliyet performansı açısından değerlendirilmektedir. Tek kabuk cephe ve çift kabuk cephe tasarımlarında bileşenlerin farklı konum, malzeme özellikleri ve güneş kontrol elemanlarının kullanımlarına göre analizleri yapılmaktadır. Çift kabuk cam cephelerin bileşenlerine ait kabullerde hava boşluğu genişliği 90 cm bırakılmaktadır, 2 cm kalınlığında dış cam kabuğuna yakın beyaz jaluzi kullanılmaktadır. Yürüme yolları galvanize çelikten oluşmaktadır. Saydam yüzeylerde ise berrak cam, güneş kontrol cam (reflektif) ve düşük yayımlı (low-e) cam türleri kullanılmaktadır. Çalışmada yapılan analizler sonucu cam tipinin enerji tüketim üzerindeki etkisinde;

- Isıtma enerji tüketimi açısından: Düşük yayımlı cam (Low-e),

- Soğutma enerji tüketimi açısından: Güneş kontrol cam,
- Toplam enerji tüketimi açısından: Düşük yayınlı cam.

etkili olmaktadır.

Bu çalışmada senaryoları oluşturulan cam türlerinin performans etkinlikleri Tablo 5.10'da gösterilmektedir [Çetiner, 2002].

Tablo 5.10: Senaryoların termofiziksel özelliklerine ait performans değerleri.

Grup No	Kod	U (W/m ² K)	SHGC	Enerji Tüketimi (kWh/m ²)	Etkinlik (%)
I	1Ç30	2,34	0,44	113,89	12,32
II	2TT121	2,44	0,17	119,88	7,71
III	2TÇ130	1,93	0,39	98,44	24,22
IV	2ÇT320	1,70	0,30	91,81	29,32
V	2ÇÇ330	1,50	0,30	84,23	35,16

Oluşturulan senaryolardan elde edilen sonuçlarda;

- 3 farklı cam tipinde en fazla enerji tüketimi berrak cam türünde olmaktadır,
- 5 gruptaki en etkin seçenekler tabloda verilmektedir Seçenekler içinde en fazla enerji tüketen durum 1Ç30 olmaktadır,
- En az enerji tüketen durum ise iki kabukta da çift tabakalı camın kullanıldığı V numaralı seçenek olmaktadır.

6. ILIMAN-NEMLİ İKLİM BÖLGELERİNDE ÇİFT KABUK CEPHE SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANILAN CAM BİLEŞENLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde tek kabuk cephe sistemine sahip olan mevcut binanın cephesine yeni bir katman eklenerek çift kabuk cephe sistemi kullanımına bağlı iyileştirme yapılmıştır. Bu iyileştirme çalışmasında saydam bileşenleri oluşturan oluşturan low-e katmanlı camın bulunduğu konumun ve cam tabakalar arasında kullanılan gaz türünün enerji etkinlik değerlendirmesi yapılmıştır. Enerji etkinliğine etki eden çevresel etmenler, iklimsel özellikler ve cephede kullanılan malzeme türleri olmaktadır. İç etmen olarak ise iç ortamın ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistem faktörü olmaktadır.

6.1. Çalışmada Kabul Edilen Sınırlılıklar

Ülkemizde binaların dış kabuklarını oluşturan saydam ve opak bileşenlerin enerji etkinliği açısından performansı, TS 825'in iklim bölgelerinde kabul gördüğü değerlerle yapılmaktadır.

Cephede kullanılan cam bileşenlerinden beklenen performans gereksinimler; enerji korunumu, iç ortam ısı konforu, görsel konfor ve doğal havalandırmanın sağlanmasıdır. Cam bileşenlerinin bu gereksinimleri karşılayabilmesi için sahip olması gereken ölçütler; ısı geçirgenlik direncinin yüksek olması, güneş kontrolü sağlanması, kamaşmayı engellemesi, doğal havalandırma ve doğal aydınlatmayı sağlamasıdır.

Çalışma kapsamında çift kabuk cephe sisteminde enerji etkinliğini sağlamak için kabuğu oluşturan cam bileşenler aracılığıyla ısıtma yükü ve soğutma yükü değerlerini azaltmak ve iç ortamın ısı konfor koşullarını sağlamak amaçlanmıştır. Performans gereksinimi olarak ısı korunumu ve güneş kontrolünden bahsedilmiştir. Çalışmanın ölçütü olarak, amaçlanan performans etkinliğini sağlayan gereksinimler doğrultusunda cephedeki cam bileşenlerin sahip oldukları özellikler ele alınmıştır.

Cam bileşenlerinin sahip olması gereken ölçütler; ısı geçirgenliğine karşı direnç sağlaması ve güneş kontrolünü sağlamasıdır.

Cephe kabuğunu oluşturan cam bileşenler, kabuk sistemi ve mevcut binaya ilişkin kabullerde;

- Çalışma alanı olarak, Kocaeli'nin Gebze ilçesinde bulunan Gebze Teknik Üniversitesi'nin Rektörlük İdari Binası seçilmiştir.
- Bu alan TS 825'e göre II. Bölgeye ait olup bu bölgenin verileri esas alınarak enerji performans değerlendirmesi yapılmıştır.
- Rektörlük İdari Binası, konum olarak güney cepheden daha yoğun güneş ısı ve ışınları aldığından dolayı güney cephesi üzerinden çalışma yürütülmüştür.
- Rektörlük İdari Binasında bulunan ofislerin güney yöndeki cephelerinde kullanılan saydam bileşenler sabit tutularak ikinci bir kabuk olarak çift tabakalı cam türü eklenerek çift kabuklu cephe sistemine bağlı iyileştirme senaryoları geliştirilmiştir.
- Cephede kullanılan camların kalınlığı sabit olup tüm cam türlerinde ortak bulunan bir değer olarak 6 mm seçilmiştir. Çift tabakalı camlar arasında bulunan ara boşluk değeri sabit olup 12 mm olarak seçilmiştir.
- Çift tabakalı camlar arasındaki boşlukta seçenek olarak hava gazı ve argon gazı kullanılmıştır.
- Cam türü olarak çift tabakalı düşük yayınlı (Low-e) cam türü kullanılmıştır.
- Camın çerçeve sistemini oluşturan opak bileşenler, yalıtımlı alüminyum malzeme olarak seçilmiştir.
- Çalışmada doğrudan cam bileşenlerin enerji performans değerlendirmesi hedeflendiğinden dolayı cephede güneş kontrol elemanları kullanılmamıştır.
- Mevcut binadaki saydam yüzeyler, pencere sisteminde tasarlandığından dolayı cepheye getirilen iyileştirme önerisinde çift kabuk cephe sisteminin bir türü olan kutu tipi çift kabuk cephe sistemi kullanılmıştır.
- Ölmez [2013], "Çok Katlı Ofis Yapılarında Camlı Yüzeyin Isıl Performansının Arttırılmasına Yönelik İyileştirme Alternatiflerinin İrdelenmesi" adlı yüksek lisans tez çalışmasındaki iyileştirme alternatiflerinde güneybatı cephesinde kurgulanan çift kabuk cephe sistem kabukları arasındaki boşluk değerini 50, 100, 150, 200 cm olarak ele alıp değerlendirmesini yapmaktadır. Bu

değerlendirme sonucunda mevcut duruma göre yıllık enerji tüketim değerinde en yüksek kar oranına 50 cm' lik hava boşluğunun olduğu sistem sonucunda varılmaktadır. Alakavuk [2010], “ Sıcak İklim Bölgelerinde Çift Kabuk Cam Cephe Sistemlerinin Tasarımı İçin Kullanılabilecek Bir Yaklaşım” adlı doktora tez çalışmasında cephelere uygulanan çift kabuk cephe sisteminin kabukları arasındaki boşluk miktarı 50, 110 ve 200 cm alınarak ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri incelenmektedir. Havalandırma boşluğunun değeri 50 cm olduğunda ısıtma ve soğutma enerji tüketiminde etkin sonuçlara varılmaktadır. İncelenen literatür çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda bu tez çalışmasında kutu tipi çift kabuk cephe sistemine ait havalandırma boşluğunun genişliği 50 cm alınarak değeri sabit tutulmuştur.

- Çalışması yapılan binanın enerji performansını ölçmek için Rhinoceros / Grasshopper ve Grasshopper programının uzantısı olan Honeybee programı kullanılmıştır.

6.2. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada enerji etkinliği, çift kabuk cephe sistemleri, cam bileşenlerinin enerji performansı, cephelerde enerji etkin iyileştirme yöntemleri ve enerji simülasyonları olmak üzere ana başlıkların literatür araştırmasında ulusal ve uluslararası makaleler, yüksek lisans tezleri, doktora tezleri, bildiriler, dergiler, kitaplar ve kabul görmüş standartlardan yararlanılmıştır. İncelemeler sonucunda çift kabuk cephe sistemleri ve enerji etkin tasarım yöntemleri öğrenilmiş, cam bileşenlerin optik ve termofiziksel özellikleri incelenerek cephe iyileştirme önerisi için senaryolar oluşturulmuştur. Bu çalışmada kapsamında ele alınan parametrelerin enerji etkinlik değerlendirmesi bina enerji simülasyon aracıyla yapılmıştır.

Bina enerji simülasyon araçları, binaların enerji yüklerinin ve enerji tüketim profillerinin saptanması ile veri elde edilmesini ve bu veriler doğrultusunda tasarımcılara alternatif çözümler arasında karşılaştırma yapılmasını ve alternatifler içinden en ideal olan seçeneğin/seçeneklerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bina performans analizi yapmak için hesaplama yöntemi, kullanıcı ara yüzünün detaylandırılması ve analiz sonuçlarının çeşitliliği bakımından çok sayıda simülasyon araçları bulunmaktadır. Tasarım sürecinde konuya ilişkin simülasyon aracı; proje

gereksinimlerine, kullanıcı deneyimine, yazılımın ara yüzü ve yeteneklerine, analiz süresine, girdi/ çıktı özelliklerine, yazılımlar arası bilgi aktarımına, erişilebilirlik özelliklerine göre seçilmektedir [Ulukavak Harputlugil, 2011].

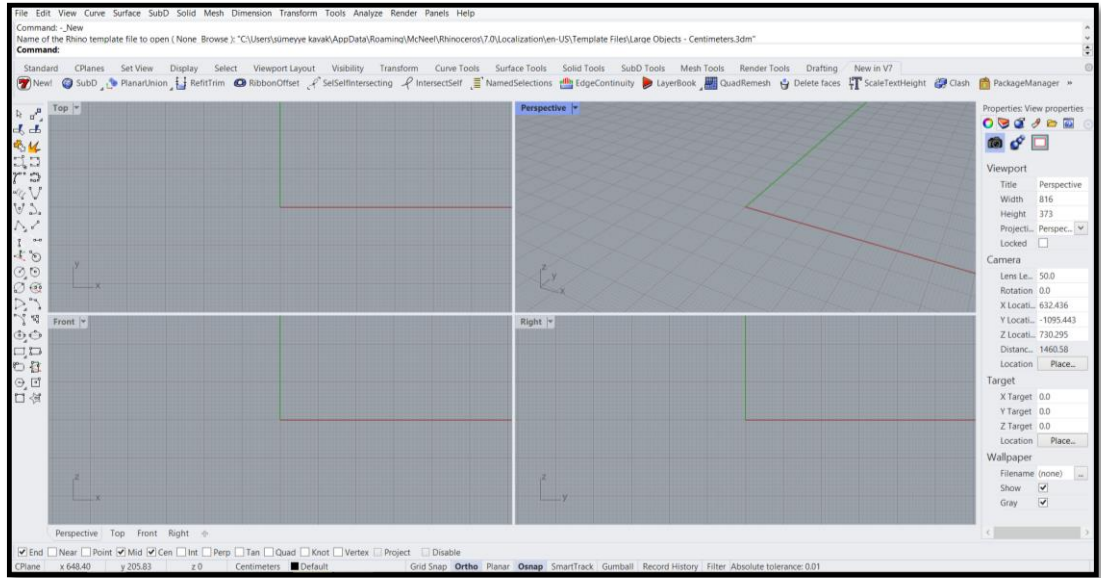
Binanın enerji tüketiminde etkili olan iklim bölgesi, iklim koşulları, binanın konumu, yönelişi, kabuğunun oluşturan malzeme ve tasarım parametreleri, ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma gibi konfor koşullarının girdileri simülasyon programında tanımlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, bina enerji performansının değerlendirmesi için Rhinoceros/Grasshopper programı ve Grasshopper'ın uzantısı olan Honeybee programı kullanılmıştır.

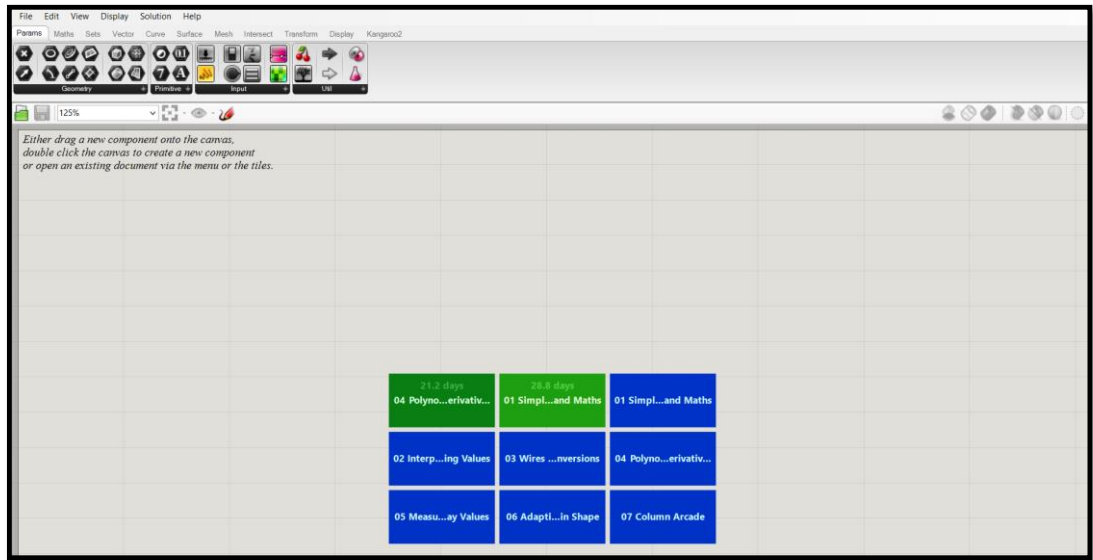
6.2.1. Enerji Performans Analizi için Rhinoceros/Grasshopper

Binalarda kullanılan enerjilerin tüketim miktarlarının belirlenmesinde binaların bulunduğu iklim koşulları, binayı etkileyen güneş ışıyım oranı, binanın yönü, konumu, bina kabuğuna ait tasarım parametreleri, havalandırma, iklimlendirme kriterleri ve kullanıcıların konfor koşulları önemli belirleyici unsurlardır.

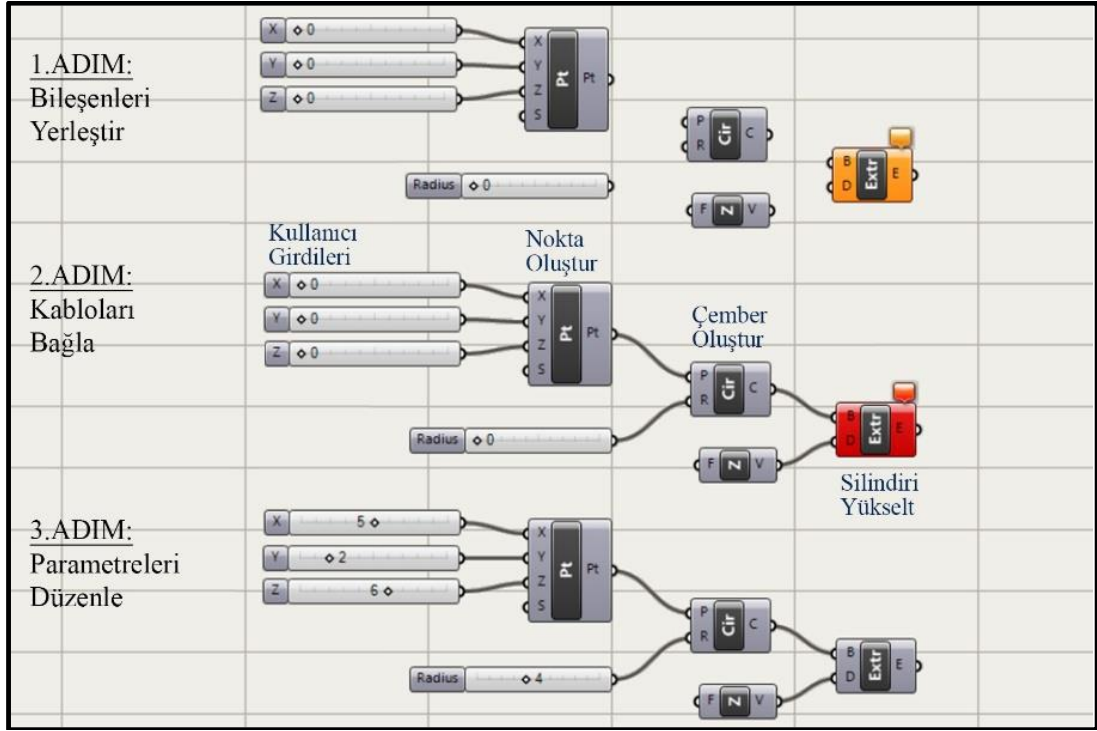
Rhinoceros yazılımı mimarlar, grafik tasarımcılar, endüstriyel tasarımcılar, gemi, otomotiv tasarımı ve takı tasarımında etkin olarak kullanılan bir 3D modelleme aracıdır. Grasshopper ise Rhinoceros programının uzantısıdır. Grasshopper ekranında parametrelerin görsel algoritması oluşturularak 3D görseller eş zamanlı olarak Rhinoceros ekranına aktarılmaktadır. Parametrelerin algoritması üzerinde yapılan her değişiklik geri bildirim yoluyla gerçek zamanlı parametrik tasarım formu denemelerine izin vermektedir. Şekil 6.1'de Rhinoceros programının ara yüzü, Şekil 6.2'de Grasshopper programının ara yüzü, Şekil 6.3'te de Grasshopper programının çalışma prensibi ve Şekil 6.4'te görsel algoritması gösterilmektedir [Makris, 2013].



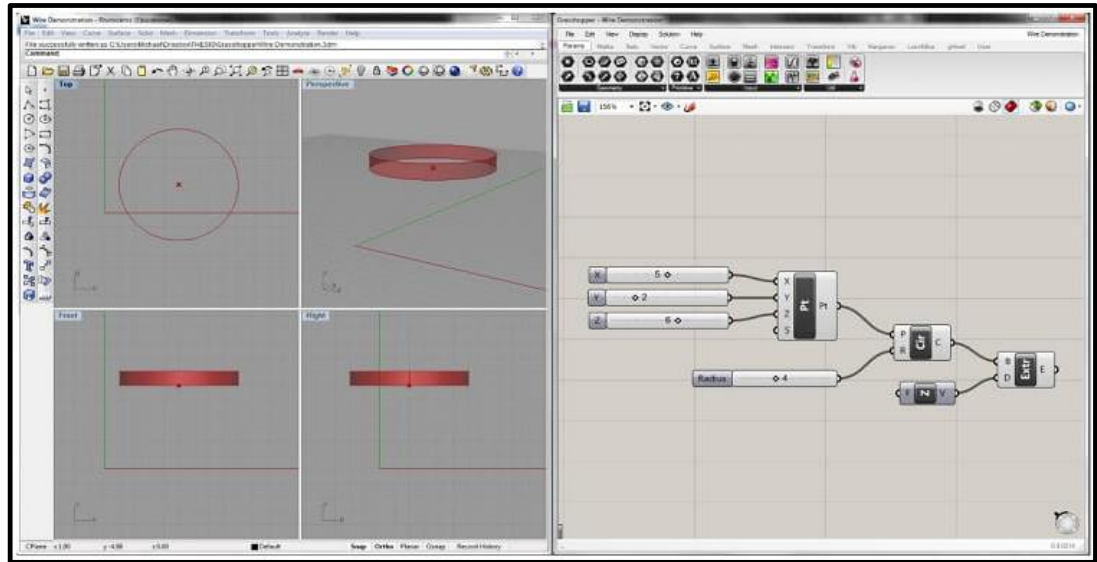
Şekil 6.1: Rhinoceros programının ara yüzü.



Şekil 6.2: Grasshopper programının ara yüzü.



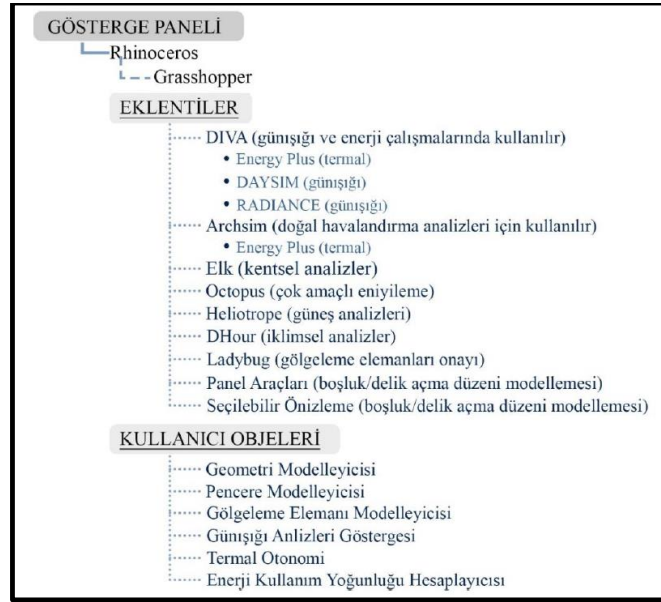
Şekil 6.3: Grasshopper programının çalışma prensibi.



Şekil 6.4: Grasshopper programının görsel algoritma sistemi.

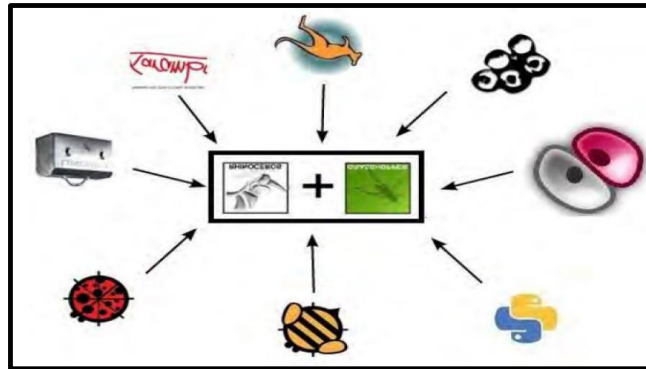
Parametrik tasarım için kullanılan yazılım araçları, bina modellemek ve 3D tasarım oluşturmak için kullanılmasının yanı sıra çevresel performans, enerji analizi gibi amaçlarla da kullanılmaktadır. Parametrik tasarım aracı olan Grasshopper programı oluşturulan binanın çevresel, strüktür, enerji analizi yapan birçok

eklentisine sahip olmaktadır. Şekil 6.5'te programın sahip olduğu eklentiler ve kullanıcı objeleri gösterilmektedir [Gamas Villamil, 2014].



Şekil 6.5: Grasshopper programının eklentileri ve kullanıcı objeleri.

Çevresel analizler için Şekil 6.6'da gösterildiği üzere Ladybug, Honeybee, Geco, Heliotrope-Solar, Strüktür analizler için Kangaroo Physizc, Karamba, BullAnt, Hummingbird ve Mantis eklentileri bulunmaktadır [Madarati, 2021].



Şekil 6.6: Grasshopper programı için eklentiler.

Ladybug, enerji analizleri için gerekli hava durumu dosyalarını (.epw) formatında Grasshopper içerine entegre etmektedir. Çevresel analizlerde güneş ışınımı analizlerini gerçekleştirmek için de kullanılmaktadır. Honeybee ise

EnergyPlus, Radiance, Daysim ve Openstudio ile entegre olarak enerji performans analizi yapmaktadır.

6.3. Binaya Ait Verilerin Toplanması ve Programda Tanımlanması

Çalışmaların yapılabilmesi için çeşitli verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler çalışmanın amacı doğrultusunda proje gereksinimlerini ifade etmektedir. Tez çalışmasında iyileştirme önerisinin getirileceği mevcut binanın bulunduğu konuma ait iklim verilerine ve binaya ilişkin verilere ihtiyaç duyulmuştur.

6.3.1. İklim Verileri

İklim sınıflandırmasında uluslararası alanda genel kabul gören çalışmalardan biri Köppen - Geiger iklim sınıflandırmasıdır. Türkiye’de ise “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” adıyla kabul gören TS 825 standardı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarını sınırlandırarak enerji tüketiminde tasarruf sağlamayı ve kullanılması gereken enerji miktarının değerlerini belirleyerek standart hesap metodu oluşturmaktadır [TS825, 2018]. Bu sebepten dolayı bu çalışmada mevcut binanın bulunduğu Kocaeli iline bağlı Gebze ilçesinin sahip olduğu iklim özelliklerinde TS 825 standardına göre kabul gören değerler dikkate alınarak enerji performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Kocaeli’nin Gebze ilçesi, TS 825 standardının sınıflandırdığı iklim bölgelerinden II. Bölgeye sahip olup “ılıman” iklim özelliklerine sahiptir. Türkiye’nin kuzey kesimlerinde denizin etkisiyle nemli iklim özellikleri de görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda Gebze, “ılıman – nemli” iklim özelliklerine sahiptir.

Türkiye’nin iklim sınıflandırma sistemiyle ilgili birçok çalışmalar yapılmaktadır. Prof. Dr. Ümran Emin Çölaşan, Türkiye’yi 7 farklı iklim bölgesine ayırmaktadır. Bu çalışmada 35 farklı merkeze ait iklim verilerini değerlendirmektedir. Diğer bir sınıflandırma çalışması ise Lütfi Zeren tarafından yapılmaktadır. Lütfi Zeren çalışmalarında Türkiye’nin 5 ana iklim bölgelerine ayrıldığı sonucuna varmaktadır. Bu bölgeler sıcak-nemli, sıcak-kuru, ılıman-kuru, ılıman-nemli ve soğuk iklim özelliklerinden oluşmaktadır [Özdemir, 2005]. Lütfi

Zeren'in yapmış olduğu çalışma iklimle dengeli tasarım konusunda ülkemizde halen en geçerli sınıflandırma sistemidir. Bu iklim bölgesine göre Kocaeli ili ılıman-nemli iklim bölgesinde bulunmaktadır.

Ilıman-nemli iklimin genel özellikleri yazları ılıman, kışları az soğuk karakterlidir. Şiddetli kışlar ve çok sıcak yazlar görülmemektedir. Yaz ve kış aylarındaki sıcaklık farkının az olduğu, insan konforuna en yakın özellikler gösteren iklim türüdür. Ancak yükseklik ve deniz kenarında olma durumlarına göre yaz ve kış aylarında, az veya çok sıcaklık farkları oluşmaktadır. Yağışlar mevsimlere dağılmaktadır ve genellikle ocak, şubat, haziran aylarında görülmektedir. En yoğun sıcaklıklar temmuz, ağustos ve eylül aylarında olmaktadır. İklimin en önemli özelliği yağış miktarının ve nemin yüksek olmasıdır [Öztürk vd., 2017].

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı "illere ait mevsim normalleri (1991-2020)" resmi istatistik verilerine göre [Web 14, 2022] Kocaeli iline ait ortalama sıcaklık değerleri Tablo 6.1'de verilmektedir.

Tablo 6.1: Kocaeli iklim verileri (1929-2020).

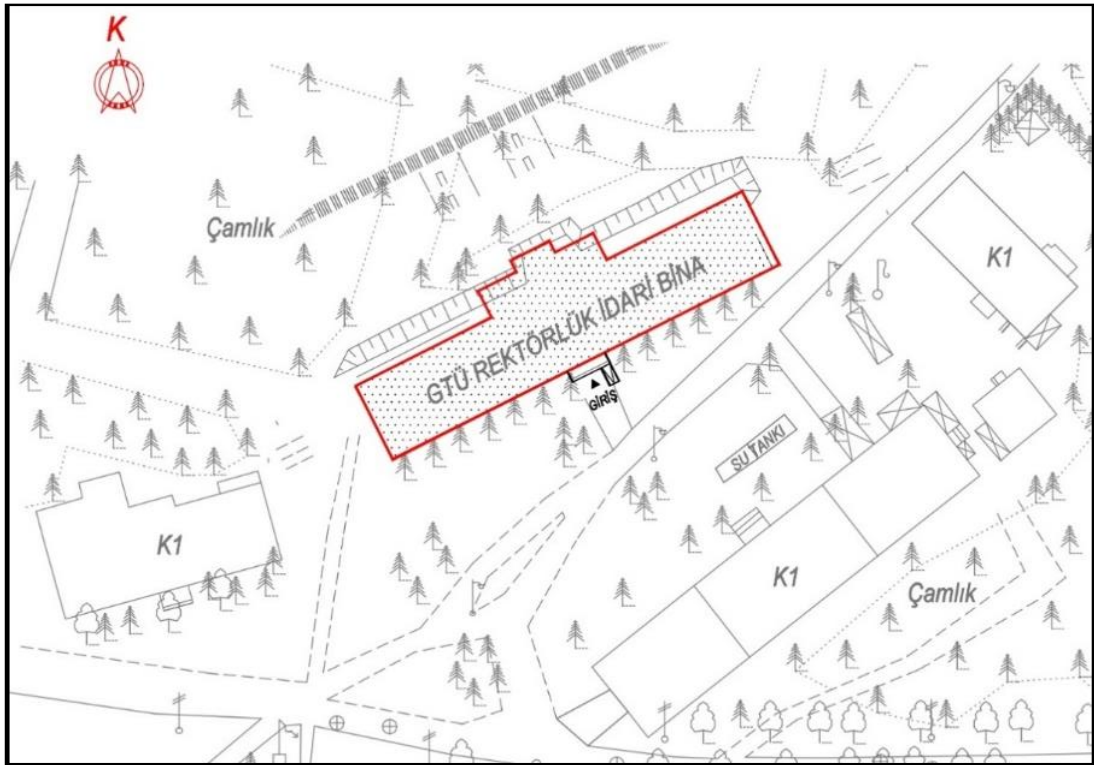
KOCAELİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.1	6.6	8.5	12.9	17.6	21.7	23.8	23.9	20.5	16.2	12.1	8.3	14.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.6	10.6	13.3	18.5	23.3	27.5	29.5	29.7	26.1	21.0	16.4	11.8	19.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.1	3.4	4.8	8.5	12.8	16.6	18.9	19.2	16.0	12.5	8.7	5.4	10.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)	2.5	3.0	4.0	5.8	7.3	8.9	9.5	9.1	7.1	4.8	3.6	2.6	5.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	18.6	16.5	15.6	13.1	11.6	9.2	6.6	6.1	8.3	12.8	13.9	17.8	150.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	92.1	75.4	70.7	51.2	48.4	55.5	45.1	43.5	59.5	85.7	78.2	109.9	815.2

Kocaeli iline ait ortalama sıcaklık değerleri yıl boyunca 6.1°C ile 23.9°C değerleri arasında değişmektedir. Ortalama en yüksek sıcaklık değerlerini haziran, temmuz ve ağustos aylarında yaşarken 1929-2020 tarihleri arasındaki ölçüm periyoduna göre yıllık sahip olduğu değer 19.8°C'dir. Ortalama en düşük sıcaklık değerlerine ocak, şubat ve mart aylarında sahip olup yıllık değeri ise 10.8°C'dir. Kocaeli'nin güneşlenme potansiyeli mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında yaşanırken en yüksek değerlerine yaz aylarında 9.5 saatlik değere kadar ulaşmaktadır. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 5.7 saattir. Yaz döneminde ayrıca nemlilik yaşanmaktadır [Web 14, 2022].

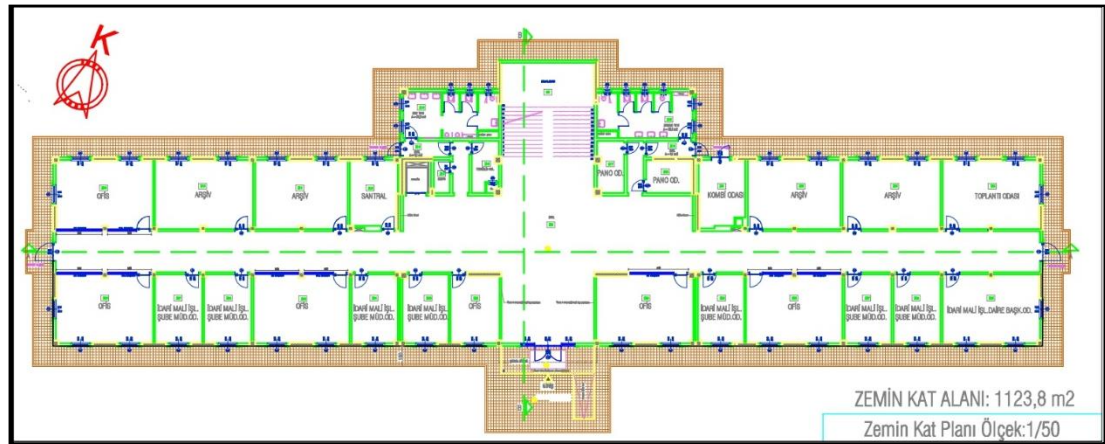
6.3.2. Mevcut Binaya İlişkin Veriler

Binaların enerji tüketimlerinde; bulunduğu konum, yönlenme, iklim koşulları, mimari tasarım, kullanım türü, kullanıcı yükü, bina kabuğuna ait tasarım kararları ve malzeme seçimi, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemleri etki rol oynayan belirleyici kriterlerdir.

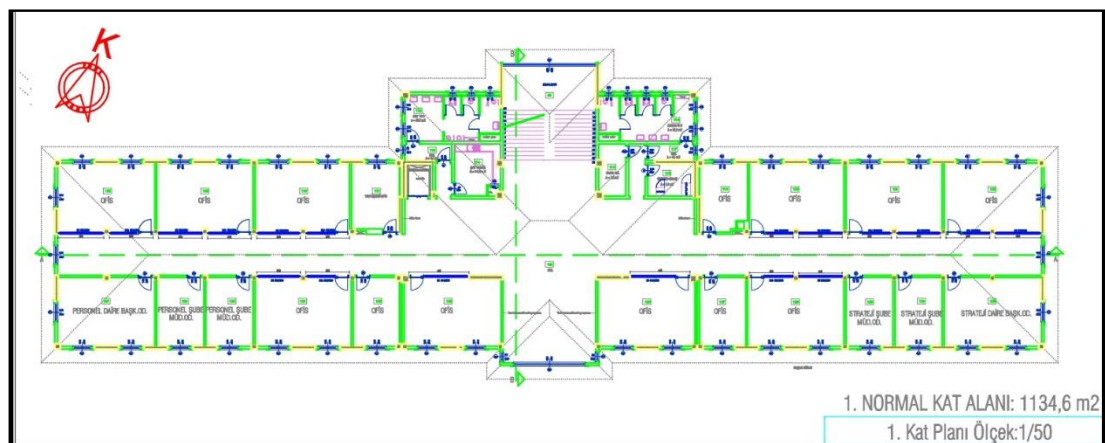
GTÜ Rektörlük İdari Binasına ait uygulama proje çizimleri, inşaat imalat verileri ve malzemelerin poz numaralarına ait bilgiler Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Projeye ait çizimler Şekil 6.7; Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.7: Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası vaziyet planı.



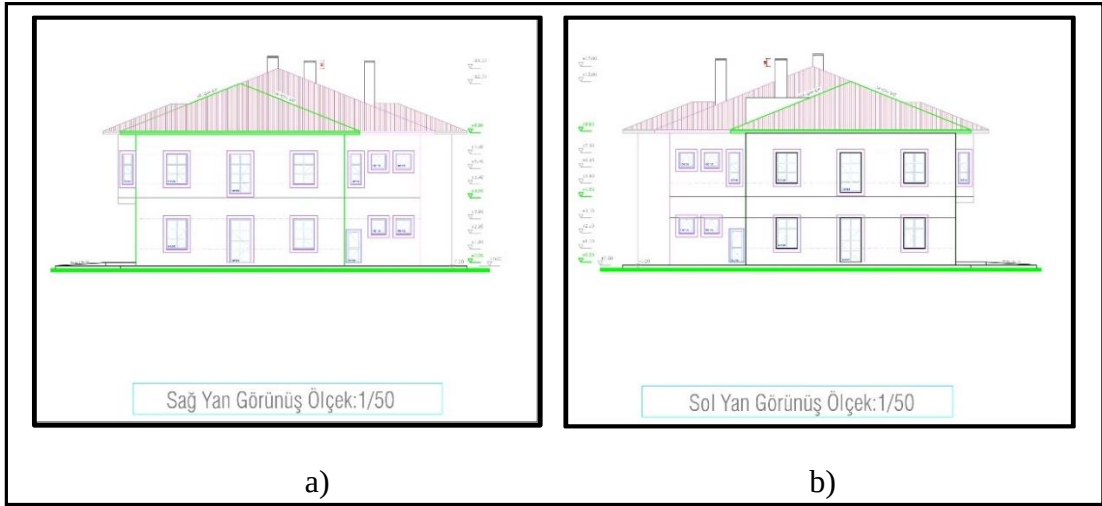
Şekil 6.8: Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası zemin kat planı.



Şekil 6.9: Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası normal kat planı.



Şekil 6.10: Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası ön görünüş.



Şekil 6.11: a) Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binasına ait sağ yan görünüş, b) Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binasına ait sol yan görünüş.



Şekil 6.12: Gebze Teknik Üniversitesi Rektörlük İdari Binası arka görünüş.

Rektörlük İdari Binasına ait ilişkin veriler Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2: GTÜ Rektörlük İdari Binasına ait bilgiler.

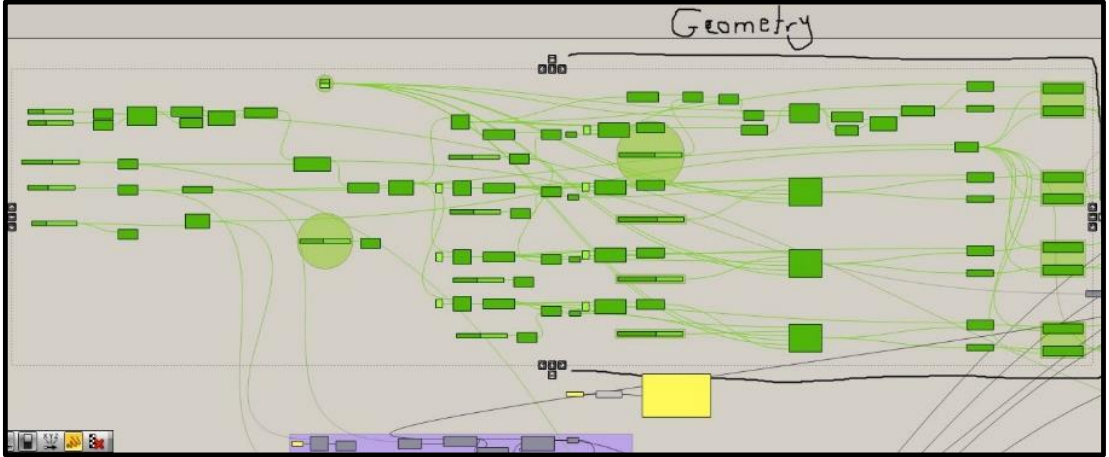
İKLİM VERİLERİ	Binanın Konumu (Enlem, Boylam)	Kocaeli, Gebze (40.81158, 29.35907)
	Binanın İklim Türü	Ilıman-Nemli (TS 825’e göre 2. Bölge)
BİNAYA AİT GENEL GENEL BİLGİLER	Binanın İşlevi	Ofis
	Binanın Yönü	Kuzeydoğu – Güneybatı doğrultusunda
	Binanın Formu	Dikdörtgen
	Binanın Kat Sayısı	Zemin + 1. Normal Kat
BİNANIN KABUĞUNA AİT VERİLER	Binanın Kat Yüksekliği	Zemin Kat : 4.30 m Normal Kat : 4.30 m
	Opak Bileşeni Oluşturan Yapı Elemanı	190 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 190 x 135 mm)
	Saydam Bileşeni Oluşturan Yapı Elemanı	Alüminyum doğrama profil ile 6+16+6 mm argon dolgulu çift camlı pencere ünitesi
MEKANİK VERİLER	Isıtma Enerji Türü	Doğal gaz (Kazan Sistemi)
	Soğutma Enerji Türü	Elektrik (Split Klima / Kompakt 4 Yön Üflemleri Kaset Tip)

Elde edilen bu bilgiler 4 adımda Grasshopper programında parametrik olarak tanımlanmıştır. Bu adımlar;

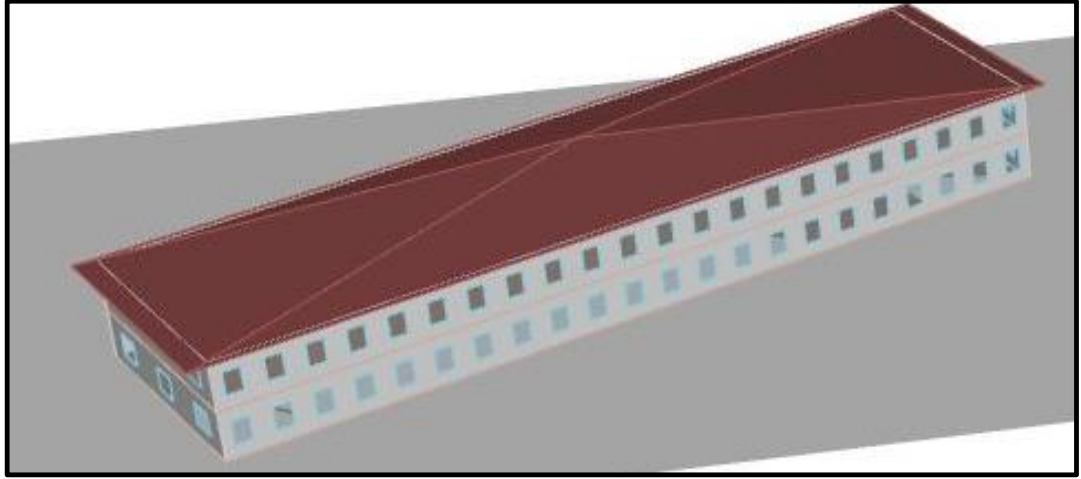
- i) Binaya ait genel veriler,
- ii) İklim verileri,
- iii) Bina kabuğuna ait optik ve termofiziksel özellikler,
- iv) Mekanik girdiler.

Mevcut binanın sahip olduğu veriler adım adım Grasshopper programında tanımlanarak Rhinoceros' da 3 boyutlu görsel hale getirilmiştir.

1. adımda binaya ait genel veriler Şekil 6.13'te gösterildiği üzere parametrik algoritması Grasshopper programda tanımlanarak 3 boyutlu modellenmesi, Şekil 6.14'te ise Rhinoceros programında eş zamanlı olarak görselleştirilmiştir.

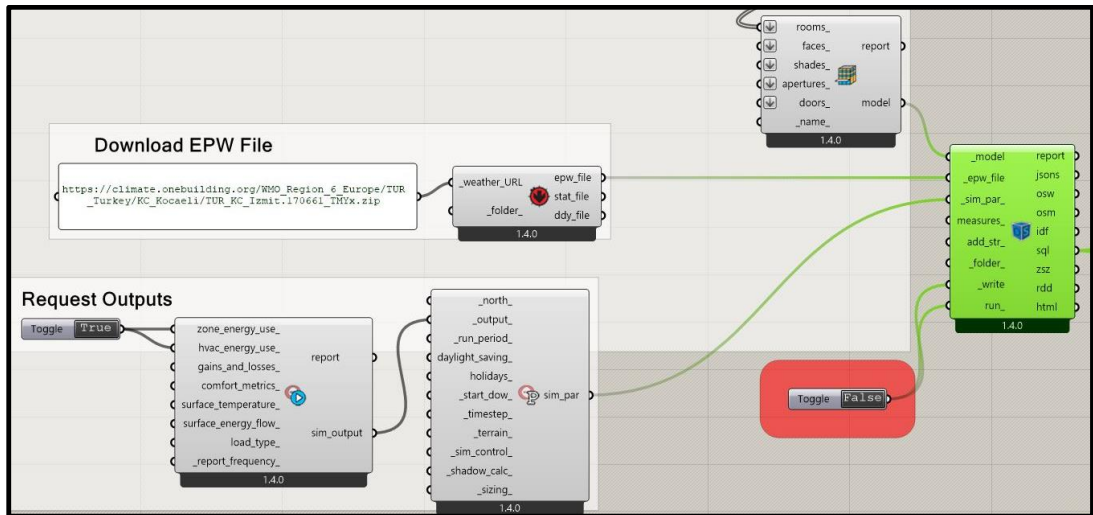


Şekil 6.13: Grasshopper programında binaya ait verilerin parametrik kodlanması.



Şekil 6.14: Mevcut binanın 3 boyutlu görseli.

2.adımda binanın bulunduğu Kocaeli iline ait iklim verileri Şekil 6.15’te gösterildiği üzere “.epw” uzantılı dosya Grasshopper programına yüklenerek sistemde tanımlanmıştır.

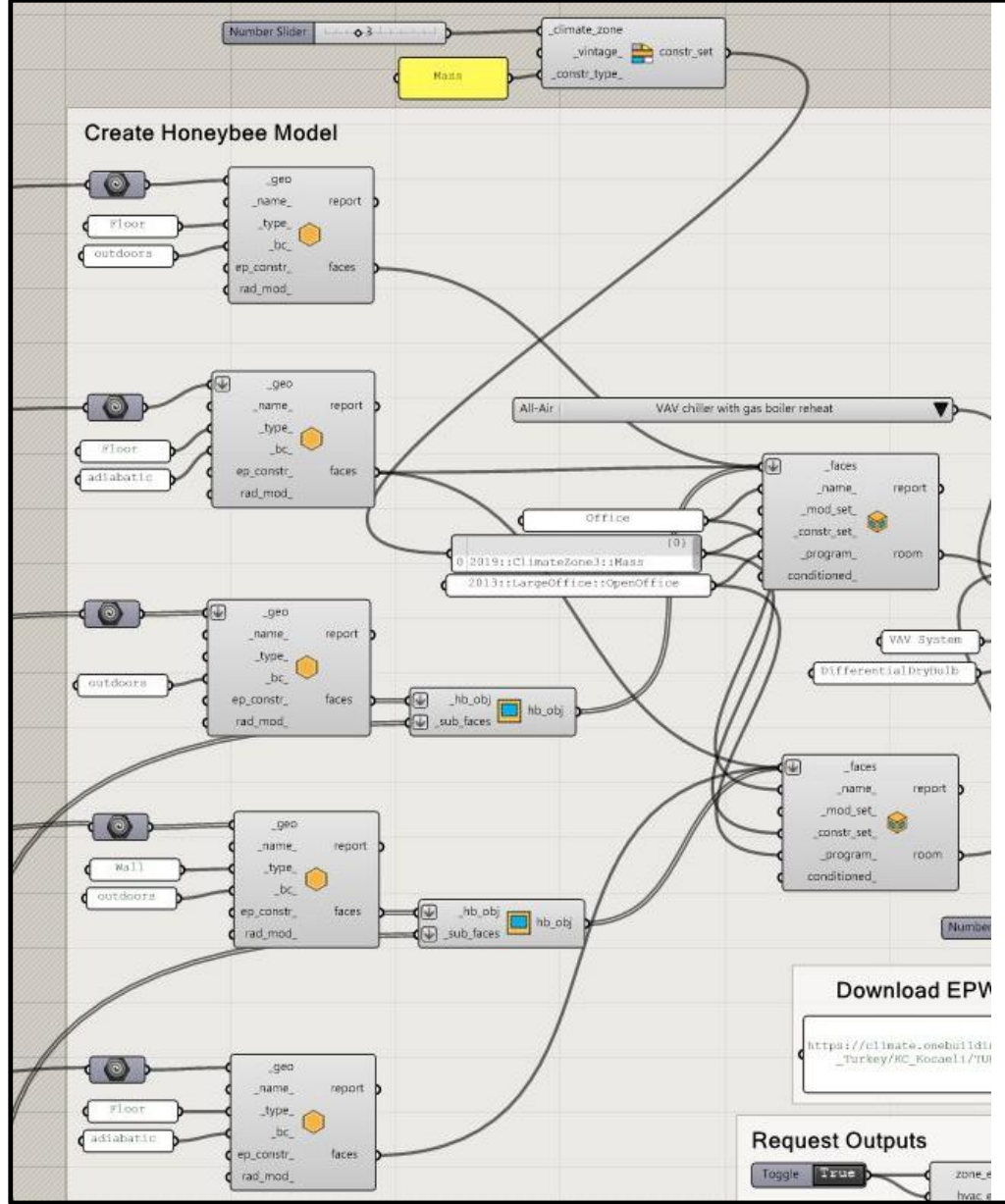


Şekil 6.15: Mevcut binaya ait iklim verilerinin .epw olarak programa yüklenmesi.

3. adımda mevcut bina kabuğuna ait saydam ve opak bileşenleri oluşturan cephe, çatı ve zemine oturan döşemeye ait veriler Grasshopper’ın enerji performans analizini yapan Honeybee uzantısında tanımlanmıştır. Yapıya ait cephe alanları ve cephelerdeki saydam alanların (m²) belirlenmesiyle cephelerin saydamlık oranları (Saydam alan x100) / (Cephe Alanı) formülüyle hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Tablo 6.3’te tablo haline getirilmiştir. Cepheye ait saydam ve opak bileşenleri programda tanımlamak için oluşturulan görsel algoritması Şekil 6.16’da verilmiştir.

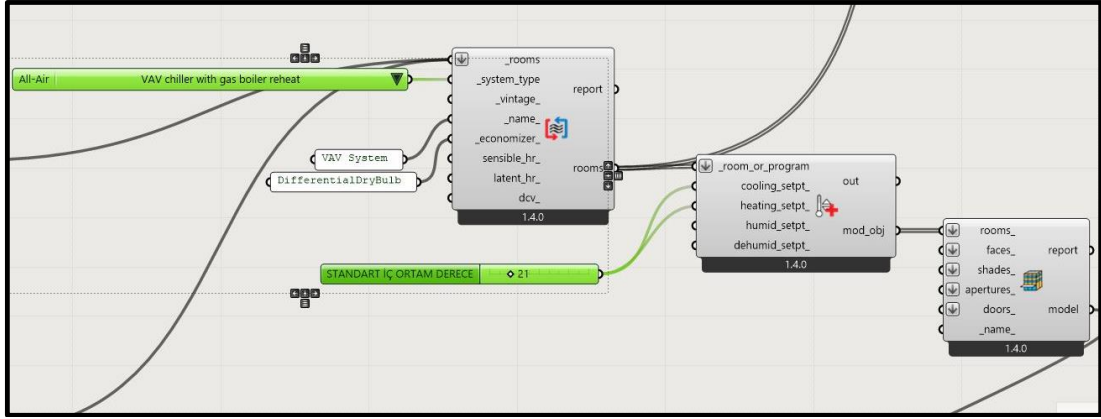
Tablo 6.3: Mevcut binanın cephelerine ait yüzey alanları ve saydamlık oranları.

	Cephe Alanı (m ²)	Saydam Alanı (m ²)	Saydamlık Oranı (%)
Güney Cephe	629.30	123.00	%20
Kuzey Cephe	629.30	105.30	%17
Doğu Cephe	120.00	19.20	%16
Batı Cephe	120.00	19.20	%16



Şekil 6.16: Cepheye ait saydam ve opak bileşenlerin programda tanımlanması.

4. adımda binanın mekanik verilerini oluşturan ısıtma ve soğutma sistemlerine ait verilerin görsel algoritması programda Şekil 6.17’de olduğu gibi tanımlanmıştır. Isıtma enerji türü olarak doğal gaz (kazan sistemi), soğutma enerji türü olarak ise elektrik (split klima / kompakt 4 yön üflemlili kaset tip) kullanılmıştır. İç ortamın sıcaklık konforu için ortalama değer olarak 21 °C alınmıştır.



Şekil 6.17: Isıtma ve soğutma sistemlerin programda tanımlanması.

6.3.3. Enerji Etkin İyileştirme Senaryoları

Çalışmada GTÜ Rektörlük İdari Binasının mevcut cephe sistem üzerine ikinci bir kabuk eklenmesiyle oluşturulan çift kabuk cephe sistemine bağlı iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Bu iyileştirme önerisinde, ılıman-nemli iklim koşulları dikkate alınarak çift tabakaya sahip düşük yayınlı (low-e) cam türünün yüzeylerde kullanıldığı konuma, tabakalar arasında kullanılan hava ve argon gaz türüne göre senaryolar oluşturulup enerji etkinlik performans sonuçlarının değerlendirmesi yapılmıştır. Oluşturulan bu senaryoların her biri Grasshopper programında görsel algoritma ile modellenerek ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmada girdi olarak ele alınan sabit ve değişken bileşenlerin özellikleri Tablo 6.4’de görselleştirilmiştir. Cephede kullanılacak olan bileşenlerden değişken olarak sadece cam bileşenlerinin ele alınmasındaki amaç, low-e katmanının camda bulunduğu konum ve cam tabaklar arasında kullanılan gazın türünün enerji etkinliğinin değerlendirilmesidir.

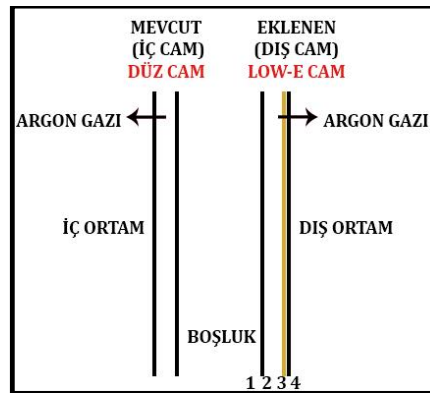
Tablo 6.4: Çalışmada girdi olarak ele alınan sabit ve değişken bileşenlerin özellikleri.

SABİT BİLEŞENLER	Çerçeve Türü	Yalıtımlı Alüminyum
	Camın Kalınlığı Ve Boşluk Genişliği	6 mm-12 mm-6 mm
	Çift Katmanlar Arasındaki Havalandırma Boşluğu Genişliği	Sabit - 50 cm
	Cam Tabakası	Çift Tabaka
	Cam Türü	Düşük Yayınımı (low-e) Cam
DEĞİŞKEN BİLEŞENLER	Low-e katmanının camda bulunduğu konum	2. yüzey 3. yüzey
	Cam Katmanları Arasında Kullanılan Gaz Türü	Hava ve Argon

Çalışmada değerlendirilmek üzere değişken bileşenlerle oluşturulan çift kabuk cephe sistemine bağlı iyileştirme önerisine ait senaryolar geliştirilmiştir.

- Senaryo 1 (S1)

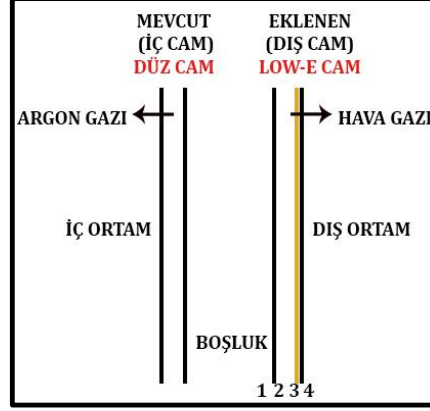
Mevcut konumdaki iç cam sabit olup eklenen dış camın tabakaları arasında argon gazının ve low-e tabakasının camın 3 numaralı yüzeyinde bulunma durumu Şekil 6.18’de görselleştirilmiştir.



Şekil 6.18: Senaryo 1 (S1) ait iyileştirme önerisi.

- Senaryo 2 (S2)

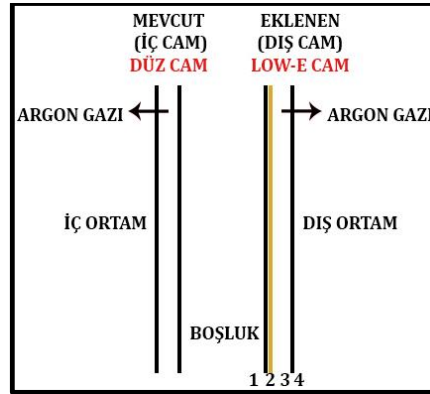
Mevcut konumdaki iç cam sabit olup eklenen dış camın tabakaları arasında hava gazının ve low-e tabakasının camın 3 numaralı yüzeyinde bulunma durumu Şekil 6.19’da görselleştirilmiştir.



Şekil 6.19: Senaryo 2 (S2) ait iyileştirme önerisi.

- Senaryo 3 (S3)

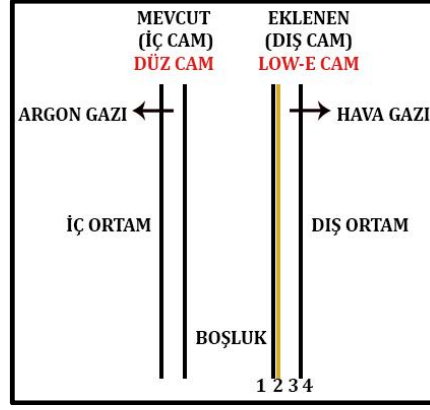
Mevcut konumdaki iç cam sabit olup eklenen dış camın tabakaları arasında argon gazının ve low-e tabakasının camın 2 numaralı yüzeyinde bulunma durumu Şekil 6.20’de görselleştirilmiştir.



Şekil 6.20: Senaryo 3 (S3) ait iyileştirme önerisi.

- Senaryo 4 (S4)

Mevcut konumdaki iç cam sabit olup eklenen dış camın tabakaları arasında hava gazının ve low-e tabakasının camın 2 numaralı yüzeyinde bulunma durumu Şekil 6.21’de görselleştirilmiştir.



Şekil 6.21: Senaryo 4 (S4) ait iyileştirme önerisi.

Çalışmada cam türü olarak kullanılan low-e tabakasının camdaki konumuna ait optik ve termofiziksel özellikler “Performans Hesaplayıcı” programı kullanılarak hesaplanmıştır.

“Performans Hesaplayıcı” programı Şişecam firması tarafından oluşturulmuş bir hesaplama motorudur. Programda tek cam, çift cam ve üçlü cam seçenekleriyle oluşturulmak istenen cam türüne ait kalınlık, renk, tabakalar arasındaki mesafe ve kullanılan gaz türü çeşitli alternatifler sunmaktadır. Şekil 6.22’deki [Web 12, 2021] görselde ifade edildiği gibi istenilen cam türü, kategoriler içerisindeki özellikler seçilerek oluşturulmaktadır. Şekil 6.23’te örnek olarak oluşturulmak istenen çift tabakalı bir cam türüne ait veriler programda tanımlanmıştır.

Şekil 6.22: “Performans Hesaplayıcı” programının ara yüzü.



Tek Cam
Isıcam
Üçlü Isıcam




DIŞ CAM

BOŞLUK

İÇ CAM

Şişecam Low-E Cam

Nötral

6 mm

Hava

12 mm

Şişecam Renksiz Düzcam

Renksiz

6 mm

TEMİZLE
HESAPLA
HESAPLAMALARIM

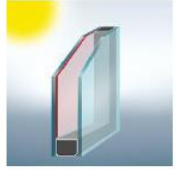
Şekil 6.23: “Performans Hesaplayıcı” programına veri girişi.

Hesaplama motorunda istenilen cam türü modeli oluşturularak girilen veriler sonucunda hesaplanan gün ışığı, güneş enerjisi, ısı geçirgenlik katsayısı ve gürültü yalıtım değerleri .pdf formatında rapor Şekil 6.24’te verilmiştir.



Performans Hesaplayıcı

Isıcam® Sistemleri



DIŞ CAM : Şişecam Low-E Cam
6 mm Nötral (2. Yüzey)

BOŞLUK : 12 mm Ara Boşluk (Hava)

İÇ CAM : Şişecam Renksiz Düzcam
6 mm Renksiz

Gün Işığı Değerleri (EN 410)	Gün Işığı Geçirgenliği	: %78
	Gün Işığı Dışa Yansıtma	: %12
	Gün Işığı İçe Yansıtma	: %12
Güneş Enerjisi Değerleri (EN 410)	Güneş Enerjisi Direkt Geçirgenliği	: %50
	Güneş Enerjisi Dışa Yansıtma	: %23
	Güneş Enerjisi Soğurma	: %28
	Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenliği (Solar Faktör / g)	: %54
	Gölgeleme Katsayısı	: 0,62
	UV Geçirgenlik	: %26
Isı Geçirgenlik Katsayısı (EN 673)	U Değeri W/(m²K)	: 1,6
Gürültü Yalıtım Değeri (EN 12758)	Rw (C; Ctr) dB	: 33 (-1; -3)

Bu ünite ile:
- Isı Kontrolü sağlanmaktadır.

"Gün Işığı" ve "Güneş Enerjisi" değerleri, EN 410:2011 standartlarına uygun olarak laboratuvar ortamında ölçülmüş spektral veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Isı geçirgenlik katsayısı olan U değeri EN 673:2011 standardına uygun olarak hesaplanmıştır. U değeri hesabında kullanılan yayıncı (emisivite) değerleri, laboratuvar ortamında EN 12598:2019'a uygun olarak ölçülmüştür.

Potansiyel ses kırılma riskleri veya ilgili yapı yönetmelikleri nedeniyle ısı iletim gömülü cam ürünlerinin kullanılmasına genişlebilir. Bu dokümanda ses kırılma risklerine yönelik herhangi bir hesaplama bulunmamaktadır. Bu konu ile ilgili sonunuz için lütfen Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. ile irtibat kurunuz.

Cam kombinasyonunun özellikleri, teknik ve diğer veriler, bu belgenin oluşturulduğu tarih itibarı ile geçerlidir ve dokümanın içerdiği bilgiler herhangi bir uyumya gerek olmaksızın Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. tarafından değiştirilebilir.

Bu doküman bilgilendirme amaçlıdır. Dokümanda verilen değerler ile ilgili değerler arasında, kullanım yerindeki koşullara bağlı olarak farklılıklar oluşabilir. Bu farklılıklar Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. hiçbir şekilde sorumlu tutulamaz.

Şekil 6.24: “Performans Hesaplayıcı” programının sonuç raporu.

Çalışmadaki her bir senaryoya ait gün ışığı değerleri, güneş enerjisi değerleri ve ısı geçirgenlik katsayısına ilişkin performans değerleri Tablo 6.5'te ortaya konulmuştur [Web 12, 2021].

Tablo 6.5: Düşük yayınlı (low-e) camın bulunduğu konuma göre optik ve termofiziksel özellikler değerleri.

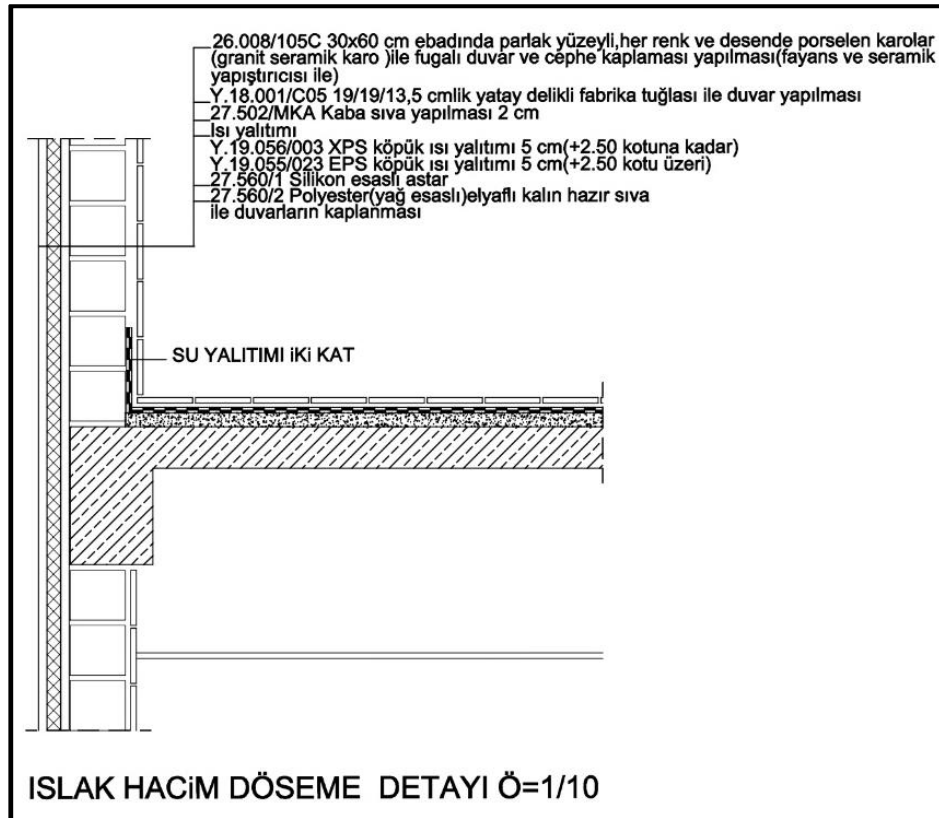
OPTİK VE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLER	SENARYOLAR	SENARYO - 1	SENARYO - 2	SENARYO - 3	SENARYO - 4
		İÇ CAM: DÜZ CAM (6 mm) BOŞLUK (12 mm) : ARGON DIŞ CAM: LOW-E CAM (6 mm)	İÇ CAM: DÜZ CAM (6 mm) BOŞLUK (12 mm) : HAVA DIŞ CAM: LOW-E CAM (6 mm)	İÇ CAM: LOW-E CAM (6 mm) BOŞLUK (12 mm) : ARGON DIŞ CAM: DÜZ CAM (6 mm)	İÇ CAM: LOW-E CAM (6 mm) BOŞLUK (12 mm) : HAVA DIŞ CAM: DÜZ CAM (6 mm)
GÜN IŞIĞI DEĞERLERİ (EN 410)	GÜN IŞIĞI GEÇİRGENLİĞİ	% 77	% 77	% 77	% 77
	GÜN IŞIĞI DIŞI YANSITMA	% 12	% 12	% 12	% 12
	GÜN IŞIĞI İÇİ YANSITMA	% 12	% 12	% 12	% 12
GÜNEŞ ENERJİSİ DEĞERLERİ (EN 410)	GÜNEŞ ENERJİSİ DİREKT GEÇİRGENLİĞİ	% 50	% 50	% 50	% 50
	GÜNEŞ ENERJİSİ DIŞI YANSITMA	% 22	% 22	% 25	% 25
	GÜNEŞ ENERJİSİ SOĞUTMA	% 28	% 28	% 25	% 25
	GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAM GEÇİRGENLİĞİ (SOLAR FAKTÖR/G)	% 54	% 54	% 61	% 60
	GÖLGELEME KATSAYISI	0,62	0,63	0,70	0,69
	UV GEÇİRGENLİK	% 30	% 30	% 30	% 30
ISI GEÇİRGENLİK KATSAYISI (EN 673)	U DEĞERİ W / (M ² K)	1,3	1,6	1,3	1,6

6.4. Çalışmadan Elde Edilen Veriler

Bu bölümde, bir önceki alt başlıklarda tanıtılan mevcut binanın bulunduğu konuma ait iklim verileri, binaya ait genel bilgiler Grasshopper programında tanımlanarak 3 boyutlu modellemesi oluşturulmuştur. Daha sonra çalışmada enerji performans değerlendirmesi yapılacak olan 4 farklı iyileştirme senaryoları oluşturulmuştur. Oluşturulan 4 farklı iyileştirme senaryolarının ısıtma ve soğutma enerji tüketim performans değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda mevcut binanın ve senaryoların ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

6.4.1. Mevcut Binanın Yıllık Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Hesaplanması

Mevcut bina kabuğu opak ve saydam bileşenlerden oluşmaktadır. Opak yüzeyi olan duvarda 19 cm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 190 x 135 mm) malzemesi kullanılmıştır. Opak yüzeyi oluşturan malzeme detayları Şekil 6.25’te gösterilmiştir.



Şekil 6.25: Duvar malzeme detayları.

Opak yüzeyi oluşturan duvar katmanlarının U değeri, Çiçek [2019]’e ait “ Bina Cephelerinde Yaygın Olarak Kullanılan Malzemelerin Isıl Performanslarının Farklı İklim Bölgelerine Göre Karşılaştırılması: Toki Örneği” yüksek lisans tez çalışmasından referans alınarak Grasshopper programının veri tabanına yüklenmiştir. Çiçek [2019], tez çalışmasında binayı kapsayan duvar, çatı, temel ve döşemelerin U değerleri TS 825’in 5 iklim bölgesine göre kategorize edilerek hesaplanmaktadır. Dış duvarlar TS 825’e göre 1. bölgede minimum U değeri 0,66, 2. bölgede minimum U değeri 0,57, 3. bölgede minimum U değeri 0,48 ve 4. bölgede minimum U değeri 0,3 değeri bulunmuştur. Bu tez çalışması için 2. bölgede yer alan mevcut binanın sahip olduğu özellikteki duvar tipi programda seçilmiştir. Seçilen

duvar tipinin U değeri 0,52 olarak kabul edilmiştir. TS 825'te 2. bölge için önerilen U_D (dış duvar ısı geçirgenlik katsayısı) değeri 0,57 olarak kabul görmektedir.

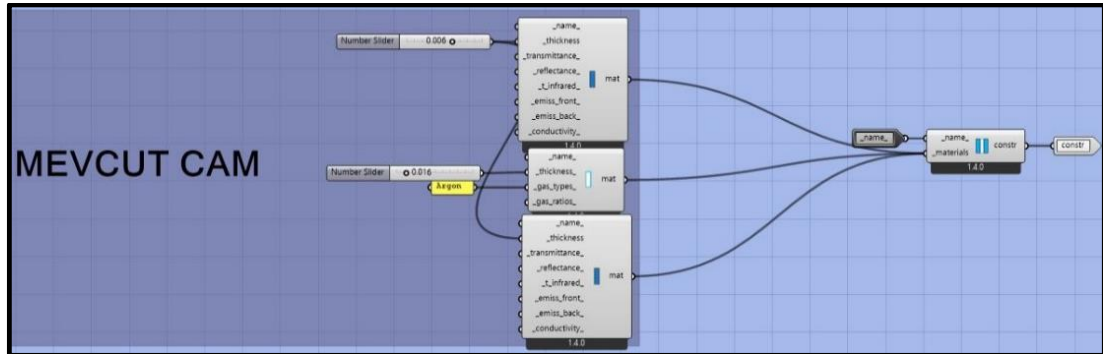
Saydam yüzeylerde ise 6+16+6 mm argon dolgulu çift camlı pencere ünitesi kullanılmaktadır. Saydam yüzeyi oluşturan cam bileşeninin termofiziksel özelliklerinin değerleri "Performans Hesaplayıcı" programında hesaplanarak Tablo 6.6'da ifade edilmiştir.

Tablo 6.6: Mevcut binaya ait cam bileşeninin termofiziksel özellik değerleri.

Termofiziksel Özellikler	Gün Işığı Geçirgenliği	Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenliği (Solar Faktör / g)	Gölgeleme Katsayısı (SC)	U Değeri $W/(m^2 K)$
Düz Cam (6mm)+Argon (16mm)+Düz Cam (6mm)	% 81	% 75	0,86	2,6

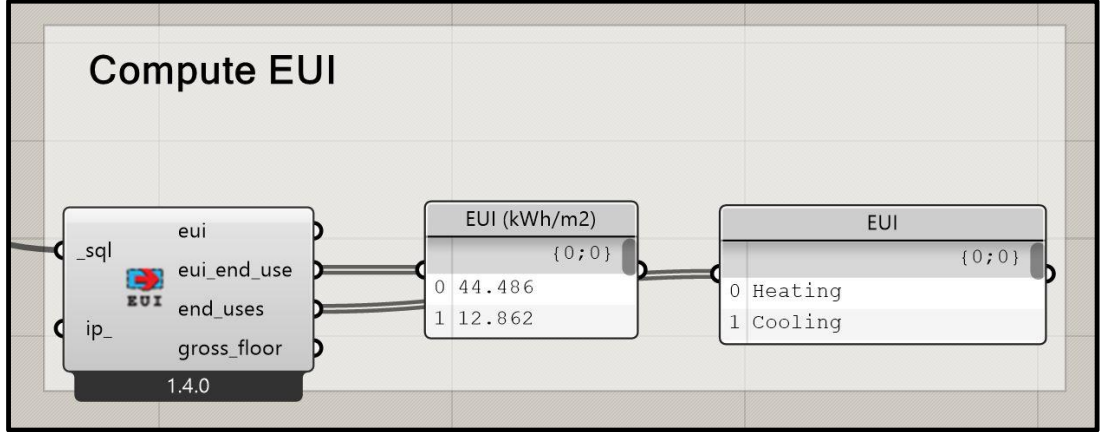
Tabloda U değeri 2,6 olarak hesaplanan cam türünün TS 825'te 2. bölge için önerilen U_D değeri 1,8 olmaktadır. Mevcut binadaki cam türünün U değeri TS 825 'e göre olması gereken azami değer üstünde olup ısı geçirgenlik performansında istenilen performans sağlanmamıştır.

Mevcut cam bileşeninin sahip olduğu termofiziksel özellikler programın algoritmasında Şekil 6.26'da olduğu gibi tanımlanmıştır.



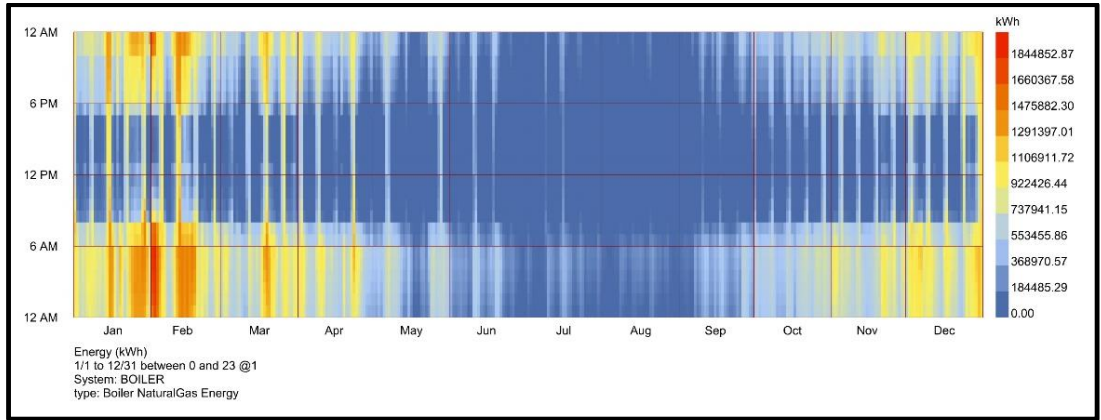
Şekil 6.26: Mevcut cam bileşeninin görsel algoritması.

Veriler programda tanımlandıktan sonra Honeybee uzantısında çalıştırılan sistemin verdiği sonuçlarda mevcut binanın m^2 başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yük değerleri kWh/m^2 cinsinden Şekil 6.27'de gösterilmiştir.



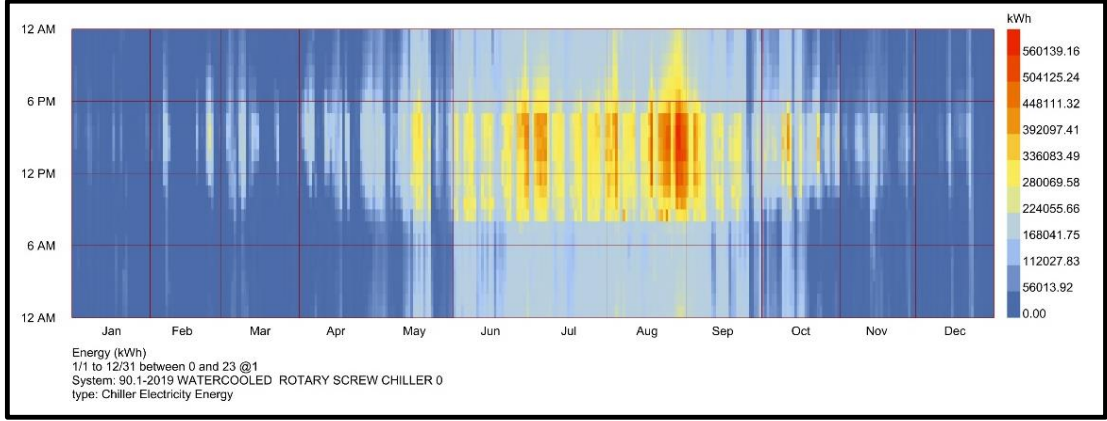
Şekil 6.27: Mevcut binanın m² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.

Binanın m² başına düşen yıllık tükettiği ısıtma enerji miktarı 44,486 kWh/m², soğutma enerji miktarı ise 12,862 kWh/m² olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.28: Mevcut binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.

Mevcut binanın tüm alanına düşen ısıtma enerji tüketim ihtiyacı Şekil 6.28'de gösterildiği üzere kasım ayında başlayıp aralık, ocak, şubat ve mart aylarının gündüz saatlerinde bir miktar ihtiyaç olduğu görülmekle beraber yoğun olarak akşam saat 6'dan sonra başlayıp gece saat 12 ve sabah saat 6 aralığında görülmüştür. Sabah saat 6'dan sonrada bir süre devam etmiştir. Isıtma ihtiyacı nisan ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ocak ayında olmuştur ve tüm bina alanına düşen enerji tüketimi 1844852,87 kWh değerine kadar ulaşmıştır.



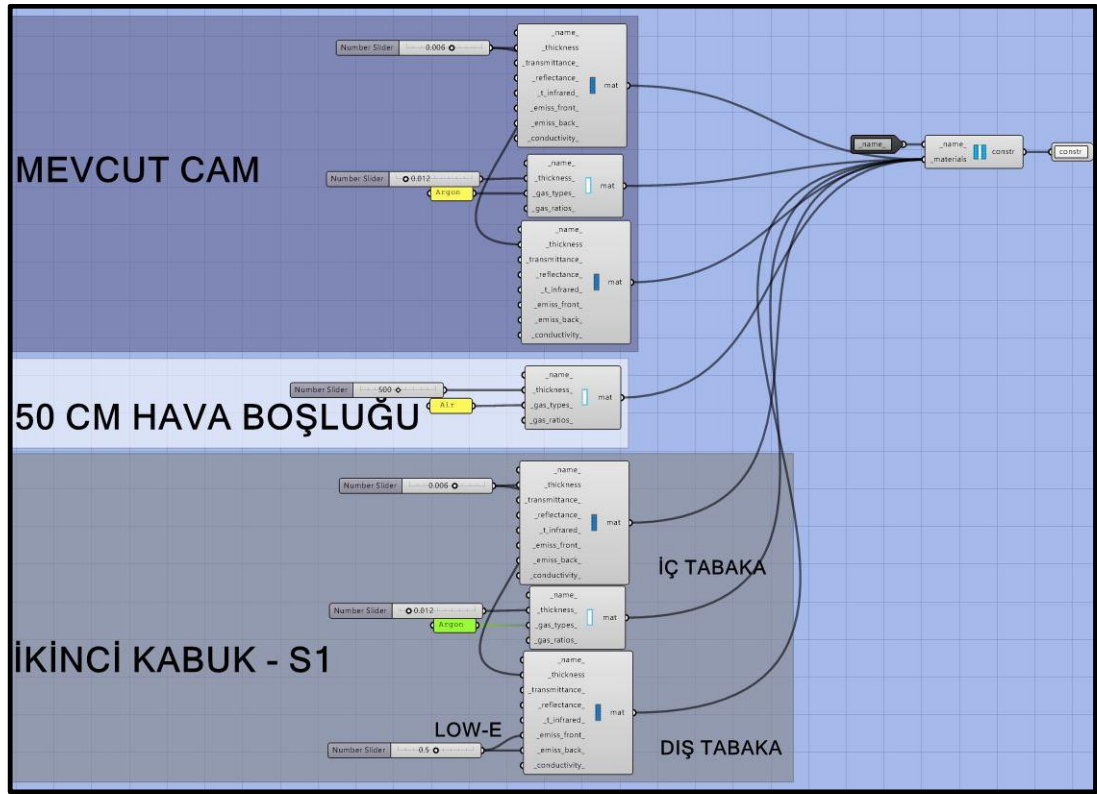
Şekil 6.29: Mevcut binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.

Mevcut binanın tüm alanına düşen soğutma enerji tüketim ihtiyacı Şekil 6.29’da gösterildiği üzere mayıs ayında başlayıp yoğun olarak haziran, temmuz, ağustos aylarının sabah saat 6’dan sonra başlayıp yoğun olarak öğle saat 12 ve akşam saat 6 aralığında olmuştur. Soğutma ihtiyacı eylül ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ağustos ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 560139,16 kWh değerine kadar ulaşmıştır.

6.4.2. Senaryoların Yıllık Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Hesaplanması

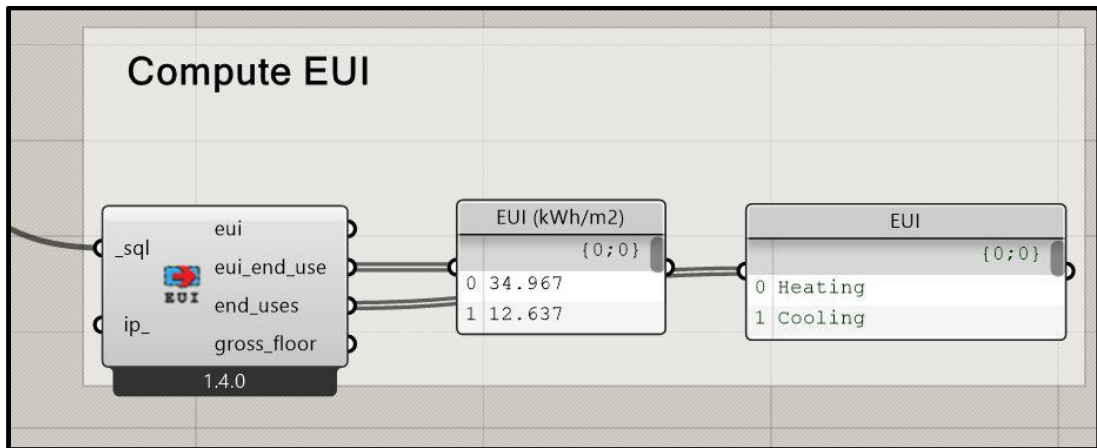
Çalışmada mevcut binanın güney yönündeki camlarının önüne 50 cm havalandırma boşluğu bırakılarak kutu tipi çift kabuk cephe sistemine bağlı iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Bu sistemde kullanılan low-e katmanının camın 2. veya 3. yüzeyinde bulunma durumları ve cam tabakalar arasında kullanılan gazın hava veya argon gazı olma durumları için 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryoların ılıman- nemli iklim koşullarına göre ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri Grasshopper’ın Honeybee eklentisi olan programdan çıktı olarak alınmıştır.

Senaryo 1 (S1)’de mevcut konumdaki iç cam sabit olup önüne 50 cm hava boşluğu bırakılarak eklenen dış camın tabakaları arasında argon gazının ve low-e tabakasının camın 3 numaralı yüzeyinde bulunma durumu incelenmiştir. S1 için oluşturulan sistem parametreleri görsel algoritma ile programda Şekil 6.30’da gösterildiği üzere oluşturulmuştur.



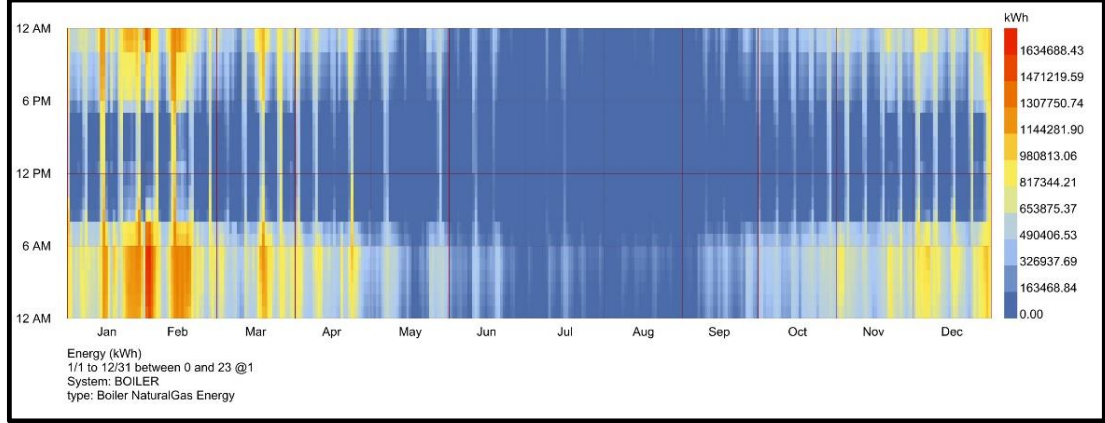
Şekil 6.30: Senaryo 1 için oluşturulan sistem parametrelerinin görsel algoritması.

S1'in parametrik verileri programda tanımlandıktan sonra Honeybee uzantısında çalıştırılan sistem sonucu binanın m^2 başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yük değerleri kWh/m^2 cinsinden Şekil 6.31'de gösterilmiştir.



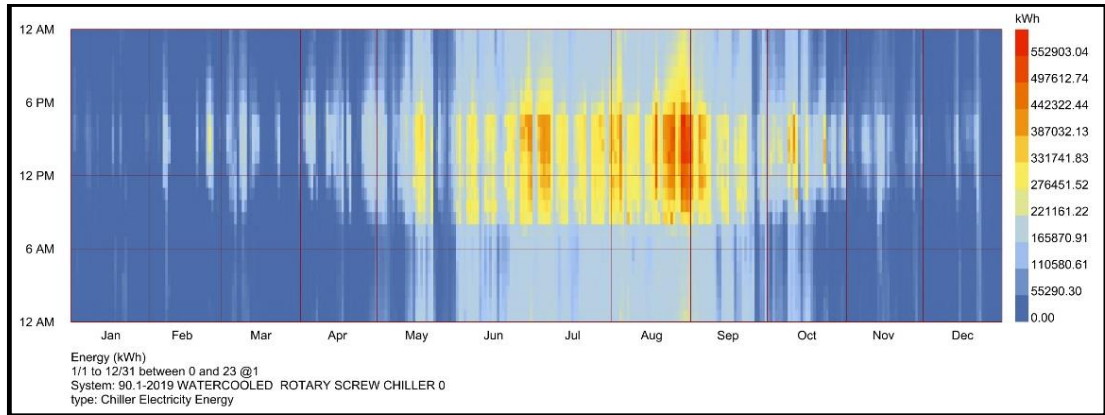
Şekil 6.31: Senaryo 1'de binanın m^2 başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.

Mevcut binanın Senaryo 1’deki sistem ile iyileştirmesi yapıldığı zaman binanın m² başına düşen yıllık tükettiği Isıtma enerji miktarı 34,967 kWh/m², soğutma enerji miktarı ise 12,637 kWh/m² olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.32: Senaryo 1 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.

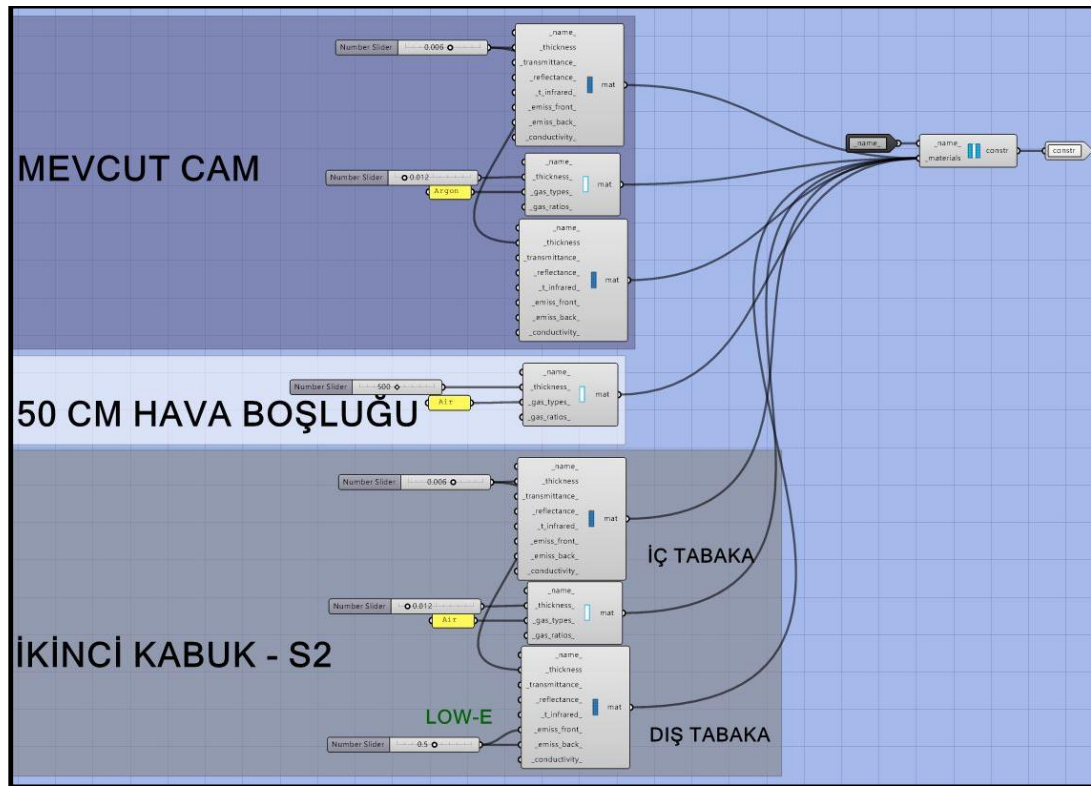
Senaryo 1 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma ihtiyacı Şekil 6.32’de gösterildiği üzere kasım ayında başlayıp aralık, ocak, şubat ve mart aylarında devam etmiştir. Bu ayların gündüz saatlerinde bir miktar ihtiyaç olup akşam saat 6’dan sonra başlayıp gece saat 12 ve sabah saat 6 aralığında artmış, sabah saat 6’dan sonra da bir süre devam etmiştir. Isıtma ihtiyacı nisan ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ocak ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 1634688,43 kWh değerine kadar ulaşmıştır.



Şekil 6.33: Senaryo 1 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.

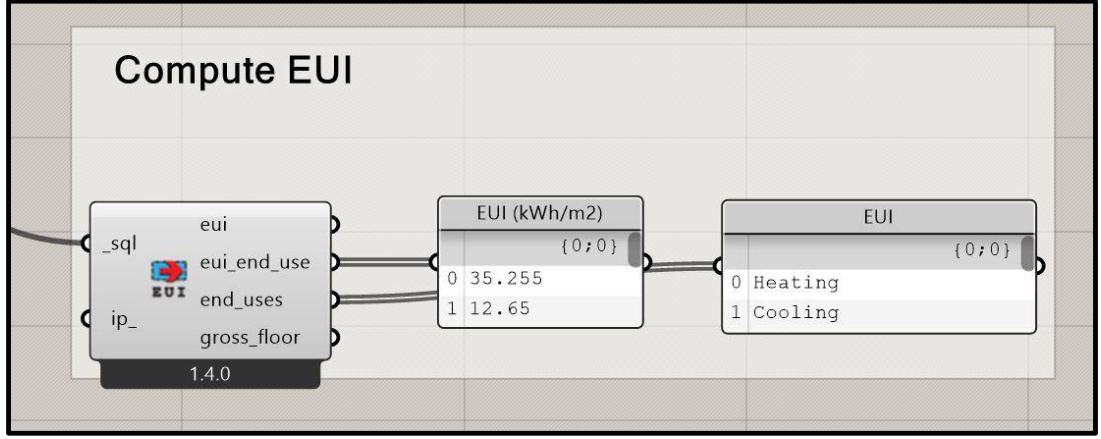
Senaryo 1 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketim Şekil 6.33’de gösterildiği üzere mayıs ayında başlayıp haziran, temmuz ağustos aylarında devam etmiştir. Sabah saat 6’dan sonra başlayıp yoğun olarak öğle saat 12 ve akşam saat 6 aralığında görülmüştür. Soğutma ihtiyacı eylül ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ağustos ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 552903,04 kWh değerine kadar ulaşmıştır.

Senaryo 2 (S2)’de mevcut konumdaki iç cam sabit olup önüne 50 cm hava boşluğu bırakılarak eklenen dış camın tabakaları arasında hava gazının ve low-e tabakasının camın 3 numaralı yüzeyinde bulunma durumu incelenmiştir. S2 için oluşturulan sistem parametreleri görsel algoritma ile programda Şekil 6.34’te gösterildiği üzere oluşturulmuştur.



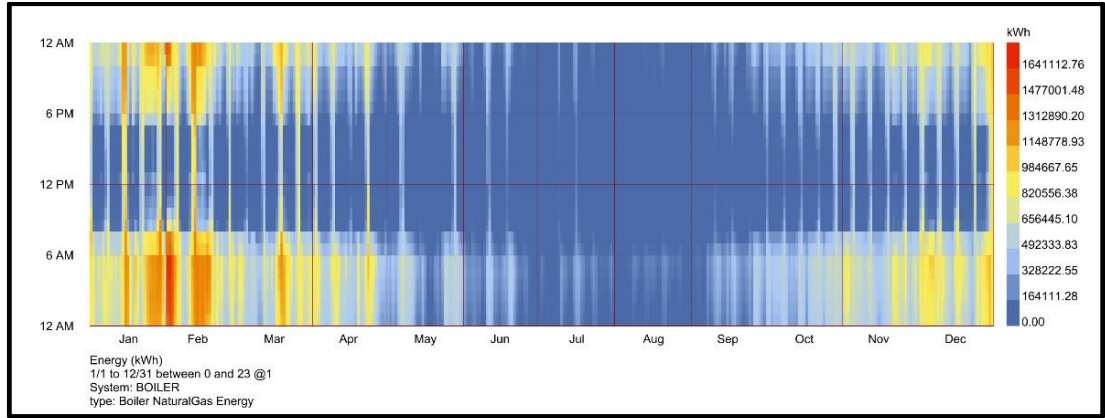
Şekil 6.34: Senaryo 2 için oluşturulan sistem parametrelerinin görsel algoritması.

Senaryo 2 ‘in parametrik verileri programda tanımlandıktan sonra Honeybee uzantısında çalıştırılan sistemin m² başına düşen yıllık olarak ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin kWh/m² değerleri Şekil 6.35’te gösterilmiştir.



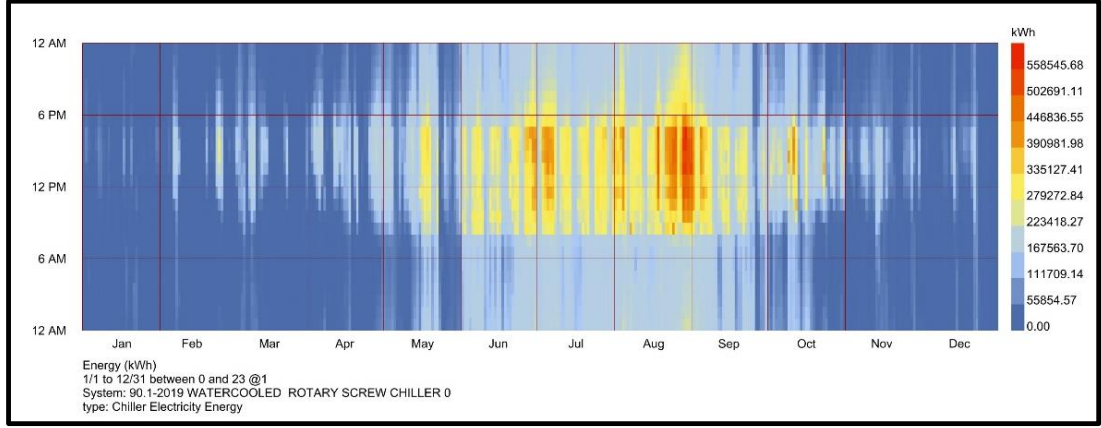
Şekil 6.35: Senaryo 2’de binanın m² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.

Mevcut binanın Senaryo 2’deki sistem ile iyileştirmesi yapıldığı zaman binanın m² başına düşen yıllık tükettiği ısıtma enerji miktarı 35,255 kWh/m², soğutma enerji miktarı ise 12,65 kWh/m² olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.36: Senaryo 2 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.

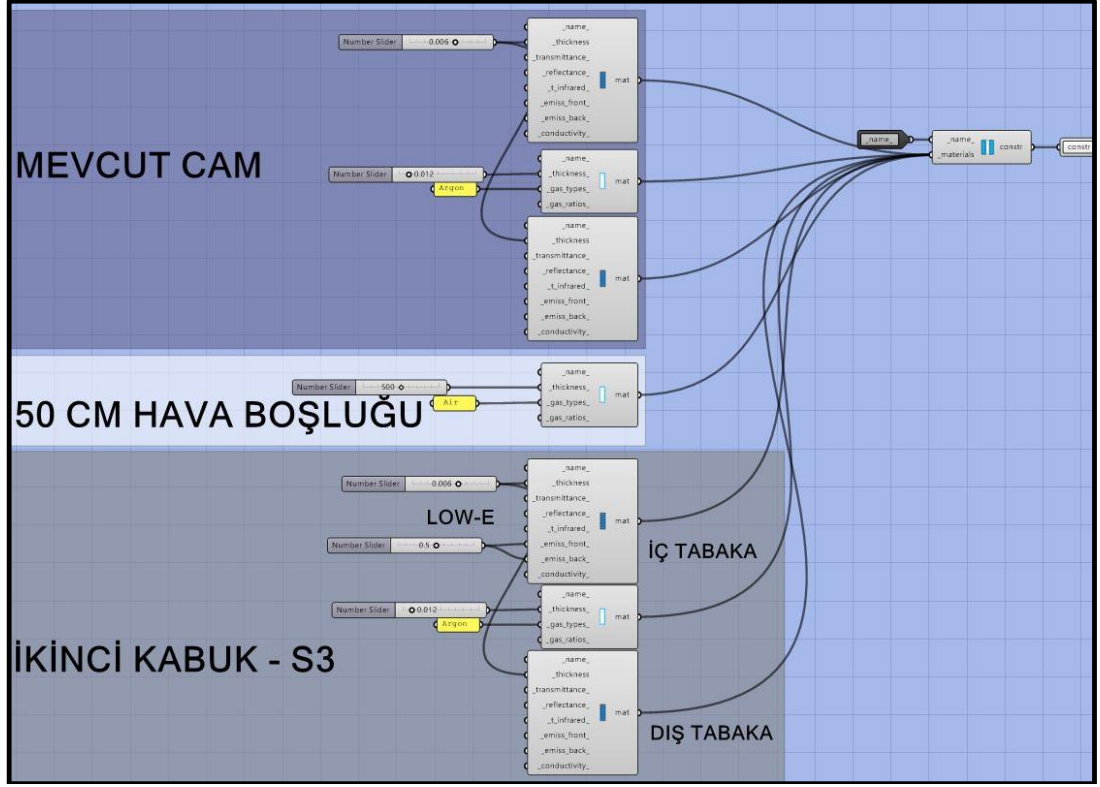
Senaryo 2 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma ihtiyacı Şekil 6.36’da gösterildiği üzere kasım ayında başlayıp aralık, ocak, şubat ve mart aylarında devam etmiştir. Bu ayların gündüz saatlerinde bir miktar ihtiyaç olup akşam saat 6’dan sonra başlayıp gece saat 12 ve sabah saat 6 aralığında artmış, sabah saat 6’dan sonra da bir süre devam etmiştir. Isıtma ihtiyacı nisan ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ocak ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 1641112,76 kWh değerine kadar ulaşmıştır.



Şekil 6.37: Senaryo 2 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.

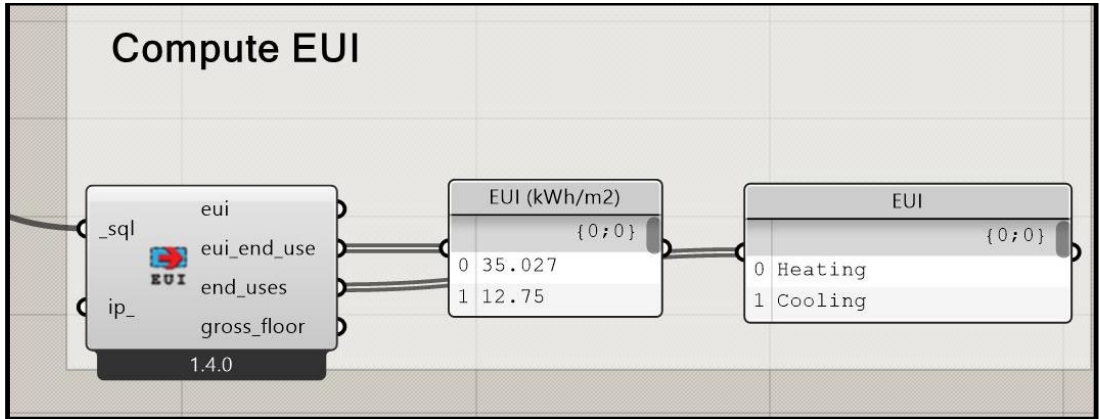
Senaryo 2 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketim ihtiyacı Şekil 6.37’de gösterildiği üzere Mayıs ayında başlayıp haziran, temmuz ağustos aylarında devam etmiştir. Sabah saat 6’dan sonra başlayıp yoğun olarak öğle saat 12 ve akşam saat 6 aralığında görülmüştür. Soğutma ihtiyacı eylül ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ağustos ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 558545,68 kWh değerine kadar ulaşmıştır.

Senaryo 3 (S3)’de mevcut konumdaki iç cam sabit olup önüne 50 cm hava boşluğu bırakılarak eklenen dış camın tabakaları arasında argon gazının ve low-e tabakasının camın 2 numaralı yüzeyinde bulunma durumu incelenmiştir. S3 için oluşturulan sistem parametreleri görsel algoritma ile programda Şekil 6.38’de gösterildiği üzere oluşturulmuştur.



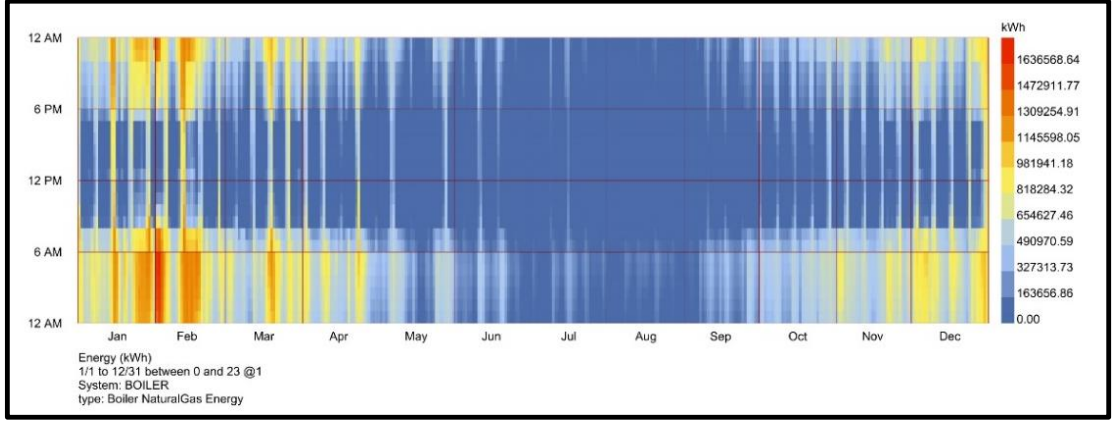
Şekil 6.38: Senaryo 3 için oluşturulan sistem parametrelerinin görsel algoritması.

Senaryo 3 'in parametrik verileri programda tanımlandıktan sonra Honeybee uzantısında çalıştırılan sistemin m^2 başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin kWh/m^2 değerleri Şekil 6.39'da gösterilmiştir.



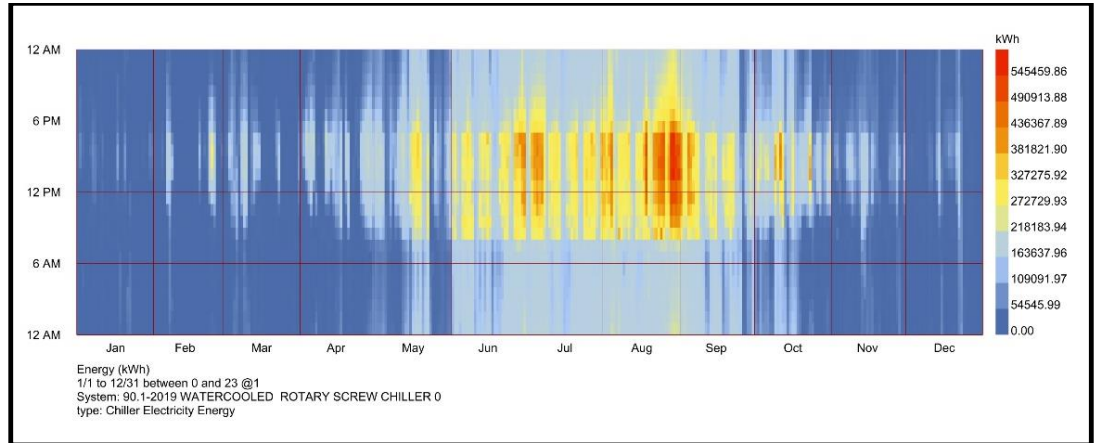
Şekil 6.39: Senaryo 3'de binanın m^2 başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.

Mevcut binanın Senaryo 3'deki sistem ile iyileştirmesi yapıldığı zaman binanın m^2 başına düşen yıllık tükettiği ısıtma enerji miktarı $35,027 kWh/m^2$, soğutma enerji miktarı ise $12,75 kWh/m^2$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.40: Senaryo 3 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.

Senaryo 3 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma ihtiyacı Şekil 6.40’da gösterildiği üzere kasım ayında başlayıp aralık, ocak, şubat ve mart aylarında devam etmiştir. Bu ayların gündüz saatlerinde bir miktar ihtiyaç olup akşam saat 6’dan sonra başlayıp gece saat 12 ve sabah saat 6 aralığında artmış, sabah saat 6’dan sonra da bir süre devam etmiştir. Isıtma ihtiyacı nisan ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ocak ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 1636568,64 kWh değerine kadar ulaşmıştır.

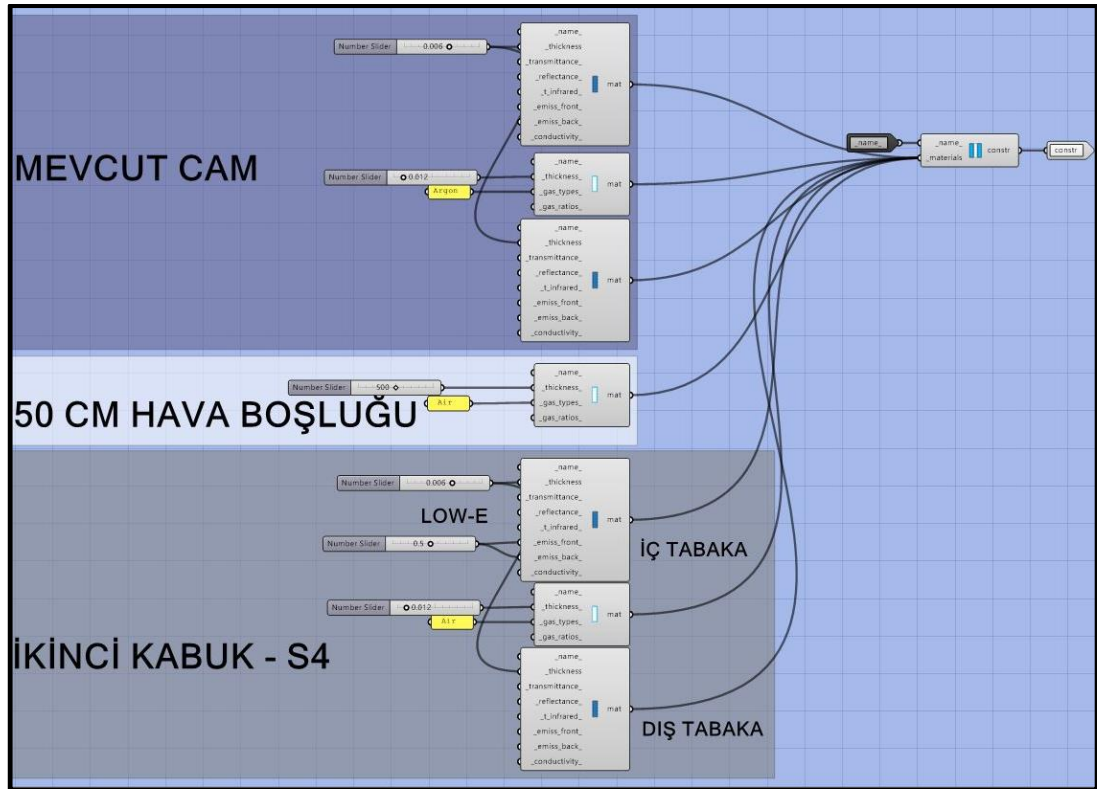


Şekil 6.41: Senaryo 3 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.

Senaryo 3 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketim ihtiyacı Şekil 6.41’de gösterildiği üzere mayıs ayında başlayıp haziran, temmuz ağustos aylarında devam etmiştir. Sabah saat 6’dan sonra başlayıp yoğun olarak öğle saat 12 ve akşam saat 6 aralığında görülmüştür. Soğutma ihtiyacı eylül

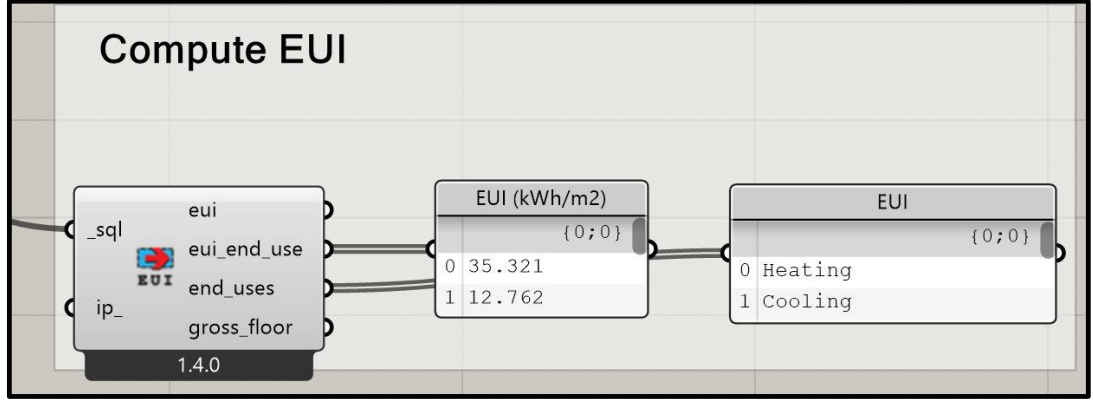
ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ağustos ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 545459,86 kWh değerlerine kadar ulaşmıştır.

Senaryo 4 (S4)'de mevcut konumdaki iç cam sabit olup önüne 50 cm hava boşluğu bırakılarak eklenen dış camın tabakaları arasında hava gazının ve low-e tabakasının camın 2 numaralı yüzeyinde bulunma durumu incelenmiştir. S4 için oluşturulan sistem parametreleri görsel algoritma ile programda Şekil 6.42'de gösterildiği üzere oluşturulmuştur.



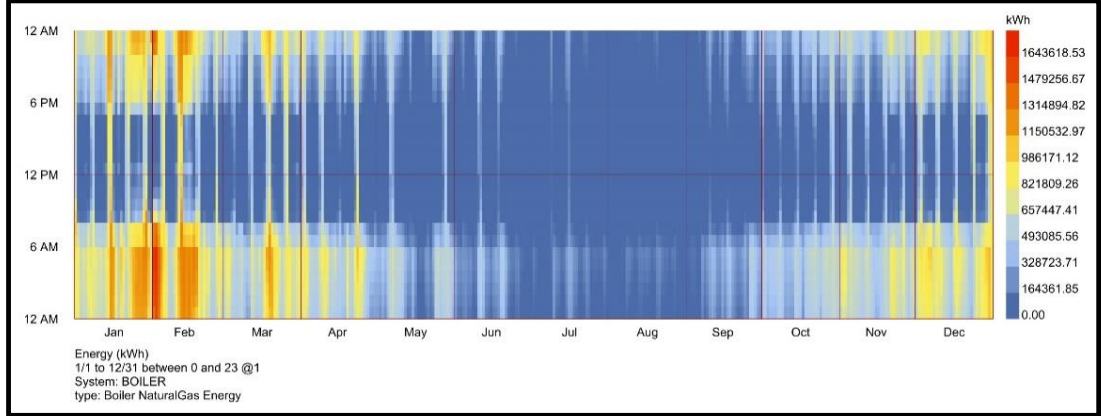
Şekil 6.42: Senaryo 4 için oluşturulan sistem parametrelerinin görsel algoritması.

Senaryo 4 'in parametrik verileri programda tanımlandıktan sonra Honeybee uzantısında çalıştırılan sistemin m^2 başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin kWh/m^2 değerleri Şekil 6.43'te gösterilmiştir.



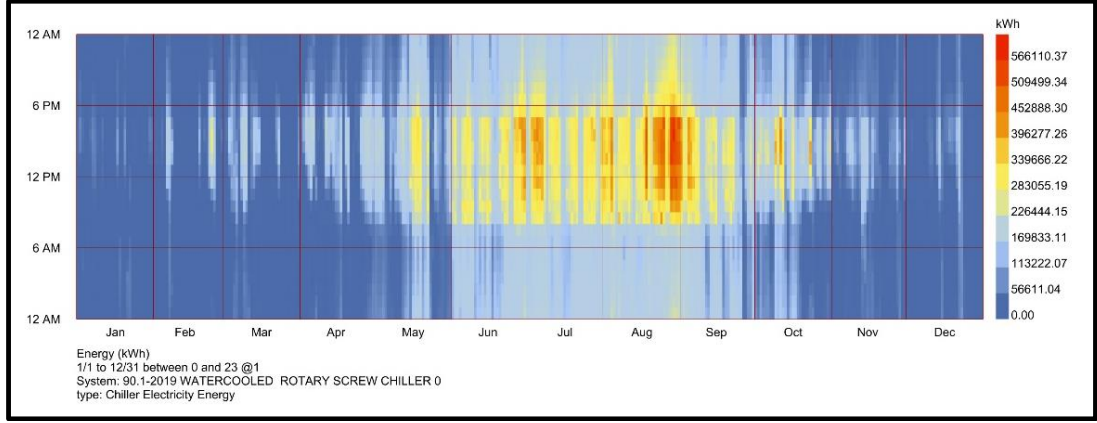
Şekil 6.43: Senaryo 4’de binanın m² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji yükleri.

Mevcut binanın Senaryo 4’deki sistem ile iyileştirmesi yapıldığı zaman binanın yıllık tükettiği ısıtma enerji miktarı 35,321 kWh/m², soğutma enerji miktarı ise 12,762 kWh/m² olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.44: Senaryo 4 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi.

Senaryo 4 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık ısıtma ihtiyacı Şekil 6.44’te gösterildiği üzere kasım ayında başlayıp aralık, ocak, şubat ve mart aylarında devam etmiştir. Bu ayların gündüz saatlerinde bir miktar ihtiyaç olup akşam saat 6’dan sonra başlayıp gece saat 12 ve sabah saat 6 aralığında artmış, sabah saat 6’dan sonra da bir süre devam etmiştir. Isıtma ihtiyacı nisan ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ocak ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 1643618,53 kWh değerine kadar ulaşmıştır.



Şekil 6.45: Senaryo 4 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi.

Senaryo 4 ile iyileştirme sonucu binanın tüm alanına düşen yıllık soğutma enerji tüketim ihtiyacı Şekil 6.45'te gösterildiği üzere mayıs ayında başlayıp haziran, temmuz ağustos aylarında devam etmiştir. İhtiyaç sabah saat 6'dan sonra başlayıp yoğun olarak öğle saat 12 ve akşam saat 6 aralığında görülmüştür. Soğutma ihtiyacı eylül ayına kadar da devam etmiştir. Bu aylar içerisinde en çok enerji tüketimi ağustos ayında olmuştur ve tüm bina başına düşen enerji tüketimi 566110,37 kWh değerlerine kadar ulaşmıştır.

6.4.3. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Performans Değerlendirmesi

Tez çalışmasında iyileştirme senaryolarının simülasyon sonuçlarında binanın m² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerlerine ulaşılmıştır. Bu sonuçlar Tablo 6.7'de tablo haline getirilmiştir.

Tablo 6.7: Mevcut durum ve iyileştirme senaryolarına ait m² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri.

	BİNANIN M ² BAŞINA DÜŞEN YILLIK ISITMA ENERJİ TÜKETİMİ (KWh/m ²)	BİNANIN M ² BAŞINA DÜŞEN YILLIK SOĞUTMA ENERJİ TÜKETİMİ (KWh/m ²)
MEVCUT DURUM	44,486	12,862
S1	34,967	12,637
S2	35,255	12,650
S3	35,027	12,750
S4	35,321	12,762

Çalışma sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda mevcut duruma göre senaryoların yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerindeki iyileştirme değerleri Tablo 6.8’de oransal olarak ifade edilmiştir.

Tablo 6.8: Mevcut duruma göre senaryoların yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketimindeki iyileştirme oranları.

	MEVCUT DURUMA GÖRE YILLIK ISITMA ENERJİ TÜKETİMİNDEKİ İYİLEŞTİRME ORANI	MEVCUT DURUMA GÖRE YILLIK SOĞUTMA ENERJİ TÜKETİMİNDEKİ İYİLEŞTİRME ORANI
S1	% 21,40	% 1,75
S2	% 20,75	% 1,65
S3	% 21,26	% 0,87
S4	% 20,60	% 0,78

Tablo 6.7’de ifade edildiği üzere mevcut durumundaki cam bileşeninin her iki tabakasında düz cam kullanılması ve aralarında argon gazının bulunması binadaki yıllık ısıtma enerji tüketimini 44,486 kWh/m² olarak vermiştir.

Senaryo-1’de low-e katmanının camın 3. yüzeyinde kullanılması ve camlar arasında argon gazının kullanılması m² başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimini 34,967 kWh/m² ‘ye düşürerek mevcut duruma göre % 21,40 oranında iyileştirme sağlamıştır. Mevcut durum ve Senaryo-1’de ortak olarak argon gazının kullanılmış olmasının yanı sıra Senaryo-1’de düşük yayınlı (low-e) camın kullanılması ısıtma enerji tüketiminde tasarruf sağlamasına neden olmuştur. Sonuç olarak, cam bileşeninde cam türü olarak low-e katmanlı camın kullanılmış olması ısıtma enerji tüketimini azaltmıştır.

Senaryo-2 (S2)’de low-e katmanının camın 3. yüzeyinde kullanılması ve camlar arasında hava gazının kullanılması m² başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimini 35,255 kWh/m² ‘ye düşürerek mevcut duruma göre % 20,75 oranında iyileştirme sağlamıştır. İyileştirme oranına etken olan S2’nin mevcut durumdan farklı olarak düşük yayınlı (low-e) camın kullanılmış olmasıdır. Sonuç olarak, low-e camın varlığı ısıtma enerji tüketiminin azaltılması açısından önemli olmuştur.

S1 ile S2’nin m² başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S1’in S2’ye göre enerji performansında % 0,65 oranında daha etkin olduğu görülmüştür. Bu iki senaryoda bu farkın oluşmasına neden olan etken cam tabakalar arasında farklı gaz türünün kullanılmış olmasıdır. S1’de kullanılan argon gazı ısı korunumunda etkin olduğundan dolayı iç ortamın ısı konforunu sağlayarak ısıtma enerji tüketimini azaltmıştır.

Senaryo-3 (S3)'de low-e katmanının camın 2. yüzeyinde kullanılması ve camlar arasında argon gazının kullanılması m^2 başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimini $35,027 \text{ kWh/m}^2$ 'ye düşürerek mevcut duruma göre % 21,26 oranında iyileştirme sağlamıştır. Sonuç olarak, S3'ün, mevcut durumdan farklı olarak cam bileşeninde düşük yayınlı (low-e) camın kullanılmış olması enerjide etkinlik sağlamıştır.

S3 ile S1'in sonuçları karşılaştırılarak değerlendirildiğinde S1'in m^2 başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi S3'e göre % 0,14 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağladığı görülmüştür. Her iki senaryoda da ortak olarak cam katmanlar arasında argon gazı kullanılmıştır. Ancak low-e katmanının camda kullanıldığı yüzeyin farklı olması enerji performansında farklılık oluşturmuştur. S1'de low-e katmanı camın 3. yüzeyinde kullanılmıştır. S3'te ise low-e katmanı camın 2. yüzeyinde kullanılmıştır. Sonuç olarak, low-e katmanı camın 3. yüzeyinde kullanılması ısıtma enerjisi tüketiminde tasarruf sağlamıştır.

S3 ile S2'nin sonuçları karşılaştırılarak değerlendirildiğinde S3'ün m^2 başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimi S2'e göre % 0,51 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağladığı görülmüştür. Her iki senaryodaki farklılık low-e katmanının camda kullanıldığı yüzey ve cam tabakalar arasında kullanılan gazın türüdür. S3' te low-e katmanı camın 2. yüzeyinde kullanılmasına rağmen S2'e göre daha etkin enerji performansı sağlamıştır. Bu durumun olmasındaki sebep S3'te cam tabakalar arasında argon gazının kullanılmış olmasıdır. Genel olarak cam bileşeninde düşük yayınlı (low-e) camın kullanılmış olması ısıtma enerji tüketiminde tasarruf sağlarken cam tabakalar arasında argon gazının da kullanılmış olması ısıtma enerji tüketiminde önemli bir etkinlik sağlamıştır.

Senaryo-4 (S4)'de low-e katmanı camın 2. yüzeyinde kullanılması ve camlar arasında hava gazının bulunması m^2 başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimini $35,321 \text{ kWh/m}^2$ 'ye düşürerek mevcut duruma göre % 20,60 oranında tasarruf sağlamıştır. S4'ün mevcut durumdan farklı olarak cam bileşeninde düşük yayınlı (low-e) camın kullanılmış olması enerjide etkinlik sağlamıştır. Cam tabakalar arasındaki hava gazının ısı korunumundaki etkisi argon gazına göre daha düşük olması enerji performansında etkinlik sağlamamıştır. Isıtma enerji performansında asıl etkenin cam bileşeninde düşük yayınlı (low-e) camın kullanılmış olmasıdır.

S4 ile S1'in m^2 başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S1'in enerji tüketimi S4'e göre % 0,80 daha az olduğu ve enerjide tasarruf sağladığı

görülmüştür. Her iki senaryodaki farklılık low-e katmanının camda kullanıldığı yüzey ve cam tabakalar arasında kullanılan gazın türüdür. S1’de low-e katmanı camın 3. yüzeyinde kullanılmış olması ve cam tabaklar arasında argon gazının bulunması ısıtma enerji tüketiminde tasarruf sağlamıştır.

S4 ile S2’nin m² başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S2’in enerji tüketimi S4’e göre % 0,15 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Her iki senaryoda da ortak olarak cam tabakalar arasında hava gazı kullanılmıştır. Ancak S4’te low-e katmanının camın 2. yüzeyinde kullanılmış olması, S2’de ise camın 3. yüzeyinde kullanılmış olması enerji performansında farklılığa neden olmuştur. Sonuç olarak, low-e katmanı camın 3. yüzeyinde kullanılması enerji tasarrufunda daha etkin bir performans sağlamıştır.

S4 ile S3 m² başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S3 ’ün enerji tüketimi S4’e göre % 0,66 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Her iki senaryoda low-e katmanının camda kullanıldığı yüzey aynı olmasına rağmen cam tabakalar arasındaki gaz türünün farklı olması enerji performansında farklılığa neden olmuştur. Cam tabakalar arasında kullanılan argon gazının hava gazına göre daha etkin ısı korunum performansı sağlaması yıllık ısıtma enerjisindeki tüketim oranını düşürmüştür.

Mevcut durum ve senaryoların m² başına düşen yıllık soğutma enerji tüketim değerleri tablo halinde verilmiştir. Tablo 6.7’de görüldüğü üzere mevcut durumdaki sistemde cam bileşeni olarak çift tabakalı düz cam ve aralarında argon gazı kullanılmış olması binadaki yıllık soğutma enerji tüketimini 12,862 kWh/m² olarak ölçmüştür.

S1’de 1’de low-e katmanının camın 3. yüzeyinde kullanılması ve camlar arasında argon gazının kullanılması m² başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimini 12,637 kWh/m² ‘ye düşürerek mevcut duruma göre % 1,75 oranında tasarruf sağlamıştır. Her iki durumda da argon gazının kullanılmasının yanı sıra S1’de düşük yayımlı (low-e) camın kullanılması soğutma enerji tüketiminde tasarruf sağlamıştır. Sonuç olarak, cam bileşeninde cam türü olarak low-e katmanlı camın kullanılmış olması soğutma enerji tüketimini azaltmıştır.

S2’de low-e katmanının camın 3. yüzeyinde kullanılması ve camlar arasında hava gazının kullanılması m² başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimini 12,650 kWh/m² ‘ye düşürerek mevcut duruma göre % 1,65 oranında tasarruf sağlamıştır.

Sonuç olarak, S2’de mevcut durumdan farklı olarak düşük yayınlı (low-e) camın kullanılmış olması soğutma enerji tüketimini azaltmıştır.

S1 ile S2’nin soğutma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S1 ‘in m^2 başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimi S2’ye göre % 0,10 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Bu iki senaryoda bu farkın oluşmasına neden olan etken cam tabakalar arasında farklı gaz türünün kullanılmış olmasıdır. S1’de kullanılan argon gazı ısı korunumunda etkin olduğundan dolayı iç ortamın ısı konforunu sağlayarak soğutma enerji tüketimini azaltmıştır.

S3’de low-e katmanının camın 2. yüzeyinde kullanılması ve camlar arasında argon gazının kullanılması m^2 başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimini 12,750 kWh/ m^2 ‘ye düşürerek mevcut duruma göre % 0,87 oranında tasarruf sağlamıştır. Bu durumun olmasındaki etken S3’nin mevcut durumdan farklı olarak cam bileşende düşük yayınlı (low-e) camın kullanılmış olmasıdır.

S3 ile S1 durumunun m^2 başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S1 ‘in enerji tüketimi S3’e göre % 0,88 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Her iki senaryoda da ortak olarak cam katmanlar arasında argon gazı kullanılmıştır. Ancak low-e katmanının camda kullanıldığı yüzeyin farklı olması enerji performansında farklılık oluşturmuştur. S1’de low-e katmanı camın 3. yüzeyinde kullanılmıştır. S3’te ise low-e katmanı camın 2. yüzeyinde kullanılmıştır. Dış ortamdan iç ortama geçen güneş ısı ve ışınlarının ilk temas ettiği yüzeyin düşük yayınlı (low-e) cam olması iç ortamın ısı yoğunluğundaki artışı kontrol etmiştir. Sonuç olarak, low-e katmanı camın 3. yüzeyinde kullanılması soğutma enerji tüketiminde tasarruf sağlamıştır.

S3 ile S2 durumunun m^2 başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S2’nin enerji tüketimi S3’e göre % 0,78 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Her iki senaryodaki farklılık low-e katmanının camda kullanıldığı yüzey ve cam tabakalar arasında kullanılan gazın türüdür. S2’ de low-e katmanının camın 3. yüzeyinde kullanılması S3’den daha etkin enerji performans sağlamıştır. Sonuç olarak, soğutma enerji tüketiminde low-e katmanının camda kullanıldığı konum önemli olmuştur.

Senaryo–4 (S4)’de low-e katmanı camın 2. yüzeyinde kullanılması ve camlar arasında hava gazının bulunması m^2 başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimini 12,762 kWh/ m^2 ‘ye düşürerek mevcut duruma göre % 0,78 oranında tasarruf sağlamıştır. S4’ün mevcut durumdan farklı olarak cam bileşeninde düşük yayınlı

(low-e) camın kullanılmış olması enerjide etkinlik sağlamıştır. Cam tabakalar arasındaki hava gazının ısı kontrol etkisi argon gazına göre daha düşük olması sebebiyle enerji performansında etkinlik sağlamamıştır. Soğutma enerji performansında asıl etkenin cam bileşeninde düşük yayımlı (low-e) camın kullanılmış olmasıdır.

S4 ile S1'in durumunun m² başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S1 'in enerji tük etimi S4' e göre % 0,97 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Her iki senaryodaki farklılık low-e katmanının camda kullanıldığı yüzey ve cam tabakalar arasında kullanılan gazın türüdür. S1'de low-e katmanı camın 3. yüzeyinde kullanılmış olması ve cam tabaklar arasında argon gazının bulunması soğutma enerji tüketiminde tasarruf sağlamıştır.

S4 ile S2'nin durumunun m² başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S2 'in enerji tüketimi S4' e göre % 0,87 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Her iki senaryoda da ortak olarak cam tabakalar arasında hava gazı kullanılmıştır. Ancak S4'te low-e katmanının camın 2. yüzeyinde kullanılmış olması, S2'de ise camın 3. yüzeyinde kullanılmış olması enerji performansında farklılığa neden olmuştur. Sonuç olarak, low-e katmanı camın 3. yüzeyinde kullanılması enerji tasarrufunda daha etkin bir performans sağlamıştır.

S4 ile S3 durumunun m² başına düşen yıllık soğutma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında S3 'in enerji tüketimi S4' e göre % 0,09 daha az olduğu ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Her iki senaryoda low-e katmanının camda kullanıldığı yüzey aynı olmasına rağmen cam tabakalar arasındaki gaz türünün farklı olması enerji performansında farklılığa neden olmuştur. Cam tabakalar arasında kullanılan argon gazının hava gazına göre daha etkin ısıl performans sağlaması yıllık soğutma enerjisindeki tüketim oranını düşürmüştür.

Tüm senaryoların m² başına düşen yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerinde azalma olmuştur. Ancak ısıtma enerji tüketimlerinde radikal azalmalar olmasına karşılık soğutma enerji tüketim değerlerinde değişim daha az olmuştur. Bu durum güney yöndeki saydam yüzeyler, kısa dalga boyu ışınlamayı geçirirken uzun dalga boyu ışınlamaya karşı saydam yüzeyler opak yüzey gibi davranarak sera etkisi oluşturmaktadır ve iç ortamda ısı kazancı sağlanmaktadır. Ayrıca mevcut cam türü ile eklenen ikinci kabuk sisteminde kullanılan cam tabakalar arasında argon gazının kullanılmış olmasıyla iç ortamın ısı korunumu sağlanmıştır.

Ilıman- nemli iklim bölgesinde bulunan binanın cam bileşenlerinde kullanılan low-e katmanının camdaki konumu soğutma enerji yükünü azaltmada etkin rol göstermiştir. Mevcut duruma göre S1'in soğutma enerji tüketimi %1,75, S2'nin % 1,65, S3'ün % 0,87 ve S4' ün ise % 0,78 oranında iyileştirme performansı göstermiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde S1 ve S2'nin S3 ve S4'e göre etkin performans göstermesindeki en belirgin etken low-e katmanlı camın 3. yüzeyde kullanılmış olmasıdır.

Ilıman- nemli iklim bölgesinde bulunan bina için geliştirilen öneri iyileştirme senaryolarındaki ısıtma enerji yükleri mevcut duruma göre değerlendirildiğinde S1 % 21,40, S2 % 20,75, S3 % 21,26 ve S4 % 20,60 oranında iyileştirme performansı göstermiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde S1 ve S3'ün S2 ve S4'e göre etkin performans göstermesindeki en belirgin etken cam tabakalar arasında argon gazının kullanılmış olmasıdır.

Genel olarak, ılıman-nemli iklim bölgesindeki GTÜ Rektörlük İdari Binasının güney cephesindeki cam bileşenlerde low-e katmanlı camın kullanılmış olması hem ısıtma hem de soğutma yüklerini azalmıştır. Ancak elde edilen veriler doğrultusunda low-e katmanının camda kullanıldığı konum, soğutma enerji yükünün performansını belirlemede önemli bir belirleyici olmuştur. Cam tabakalar arasında kullanılan gaz türü, ısıtma enerji yükünün performansını belirlemede önemli bir belirleyici olmuştur.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Sanayi ve endüstrinin gelişmesiyle şehirlerde meydana gelen nüfus yoğunluğu sonucu günümüzde konut ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Konut ihtiyacını daha hızlı bir şekilde karşılamak üzere yoğun ham madde ve yoğun enerji tüketimi olmaktadır. Bu tüketim beraberinde ham madde ve enerji kaynaklarında azalma sorunlarını getirmektedir. Bu nedenle kaynak tüketiminin azaltılması için enerji etkinliğinin sağlanmasını ve yenilebilir enerji kaynaklarına yönelimi gerekli hale getirmektedir. Binalarda enerjiden tasarruf sağlamak ve enerjini n etkin kullanımını sağlamak için çeşitli tasarım kriterleri, kararları ve önlemleri söz konusu olmaktadır.

Binaların kullanım aşmasında enerji tüketimi yoğun olarak ısıtma, soğutma, aydınlatma, iç ortam hava kalitesi gibi konfor koşullarını sağlamak için kullanılmaktadır. Bu konfor koşulları, binanın bulunduğu iklim koşullarına uygunluk sağlayarak iç ve dış ortam arasındaki dengenin sağlanmasıyla olmaktadır. Bu denge ise bina kabuğunu oluşturan cephe sistemiyle sağlanmaktadır. Cephe sistemini oluşturan tasarım elemanları bulunduğu iklim koşullarına göre ısı kazanç ve kayıplarının, güneş ışınlamalarının kontrolünü sağlanmaktadır. Bu durumda kullanıcı konforunda iklim koşulları göz önüne alınırken enerji tüketiminde tasarrufun sağlanması için de binaların cephe tasarımları önemli olmaktadır.

Tez çalışması kapsamında enerji etkin cephe sistemlerinden biri olan çift kabuk cephe sistemleri ele alınmıştır. Çift kabuk cephe sistemleri, binalarda kışın ısı kaybını kontrol ederek pasif ısıtma sağlayacak, yazın ise güneş ısı kazançlarını kontrol ederek soğutma enerji tüketiminde etkinlik sağlayacak farklı tasarım parametreleri bulundurmaktadır. Isıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma enerji yükünün azaltılmasında saydam cephede kullanılan çeşitli güneş kontrol elemanları, cam bileşenlerinin optik ve termofiziksel özellikleri, kabuklar üzerinde bulunan menfezler, ara holler etkin rol oynamaktadır. Saydam yüzeyleri oluşturan cam bileşenler, yapının iç ortam ısı ve görsel konfor koşullarını sağlama konusunda kabukta bulunan diğer bileşenlere kıyasla daha az etkin performans göstermektedir. Bu sebeple cam bileşeninin konfor koşullarında etkin performans gösterebilmesi için optik ve termofiziksel özellikler, camlar arasındaki boşluk miktarı ve cam tabakalar arasında kullanılan gaz türleri tasarım aşamasında ele alınması gereken önemli

özellikler olup binanın bulunduğu yerin iklimsel şartlarıyla birlikte değerlendirilmelidir.

Bu tez çalışmasında GTÜ Rektörlük İdari Binasının güney yönündeki mevcut cephesine çift kabuk cephe sistemine bağlı iyileştirme önerisi getirilmiştir. Bu iyileştirme çalışmasında kurgulanan çift kabuk cephe sistemi, mevcut cephenin saydam bileşeninin önüne ikinci bir saydam bileşen getirilerek oluşturulmuştur. İkinci kabukta saydam bileşen olarak çift tabakalı low-e katmanlı cam ve cam tabaklar arasında hava veya argon gazı kullanılmıştır. Low-e katmanının camda kullanıldığı konuma göre ve cam tabaklar arasında kullanılan gaz türüne göre 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Mevcut durumun ve 4 farklı senaryonun 3 boyutlu görseli Rhinoceros programında oluşturulmuştur, ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerlerinin analizi ise Rhinoceros programının uzantısı olan Grasshopper ve Programda hesaplanan ısıtma ve soğutma enerji tüketim sonuçlarının değerlendirmesi yapılmıştır. Mevcut durum ve 4 farklı senaryoların m² başına düşen yıllık ısıtma ve yıllık soğutma enerjisi tüketim değerleri ve etkinlikleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Binanın m² başına düşen yıllık ısıtma enerji tüketim değerleri karşılaştırıldığında en etkin performansı Senaryo 1 (S1) sağlamıştır ve sırasıyla Senaryo 3 (S3), Senaryo 2 (S2), Senaryo 4 (S4) etkinlik göstermiştir. Bu sıralamaya bakıldığında en etkin performans gösteren senaryoların S1 ve S3 olduğu görülmüştür. S1, low-e katmanın cam tabakanın 3. yüzeyinde kullanıldığı ve cam tabakalar arasında argon gazının bulunduğu senaryodur. S3 ise low-e katmanın cam tabakanın 2. yüzeyinde kullanıldığı ve cam tabakalar arasında argon gazının bulunduğu senaryodur. Isıtma enerji kullanımında etkin performans gösteren S1 ve S3 senaryolarında low-e katmanı camda farklı yüzeylerde kullanılmıştır. Ancak her ikisinde de ortak özellik olarak cam tabakalar arasında argon gazı kullanılmıştır. S1 ve S3'te low-e katmanlı cam kullanılmasına rağmen cam tabakalar arasında argon gazının kullanılması hava gazının kullanıldığı S2 ve S4'e göre daha etkin sonuçlar vermiştir. S-1 ve S-3 ise kendi içinde değerlendirildiğinde low-e katmanının camın 3. yüzeyinde bulunması daha etkin sonuç vermiştir.

Mevcut duruma göre ısıtma enerji tüketiminde en fazla tasarruf % 21.40 oranında sağlanmıştır. Bu durum çift kabuk cephe sisteminin saydam bileşenini oluşturan low-e katmanlı cam türünün bulunduğu konumdan ve cam tabaklar arasında argon gazının kullanılmış olmasından kaynaklanmıştır. Low-e katmanının

camın 3. yüzeyinde kullanılmış olması enerji performansını arttırmıştır. Argon gazının ısı korunumundaki performansı hava gazına göre daha etkin olduğundan dolayı ısıtma enerji tüketiminde tasarruf sağlamıştır. Ayrıca mevcut durumdaki cam bileşeninde de argon gazının kullanılması senaryolardaki ısıtma enerji tüketiminde tasarruf sağlanmasına katkı sağlamıştır.

Binanın m² başına düşen yıllık soğutma enerji tüketim değerleri karşılaştırıldığında en etkin performansı Senaryo 1 (S1) sağlamıştır ve sırasıyla Senaryo 2 (S2), Senaryo 3 (S3) ve Senaryo-4 (S4) etkinlik göstermiştir. Bu sıralamaya bakıldığında soğutma enerji kullanımında etkin performans gösteren senaryoların S1 ve S2 olduğu görülmüştür. S1, low-e katmanın cam tabakanın 3. yüzeyinde kullanıldığı ve cam tabakalar arasında argon gazının bulunduğu senaryodur. S2’de ise low-e katmanın cam tabakanın 3. yüzeyinde kullanıldığı ve cam tabakalar arasında hava gazının bulunduğu senaryodur. Soğutma enerjisi kullanımında etkin performans gösteren S1 ve S2 senaryolarında ortak özellik olarak low-e katmanı camda aynı yüzeylerde kullanılmıştır. Ancak cam tabakalar arasında farklı gaz türleri kullanılmıştır. S1 ve S2’de farklı gaz türü kullanılmasına rağmen ortak özellik olarak low-e katmanının cam tabakanın 3. yüzeyinde kullanılmış olması S3 ve S4’e göre daha etkin sonuçlar vermiştir. S1 ve S2 ise kendi içinde değerlendirildiğinde cam tabakalar arasında argon gazının kullanılması daha iyi sonuç vermiştir.

Mevcut duruma göre soğutma enerji tüketiminde en fazla tasarruf % 1.75 oranında sağlanmıştır. Bu durum çift kabuk cephe sisteminin saydam bileşenini oluşturan low-e katmanlı cam türünün bulunduğu konumdan ve cam tabakalar arasında argon gazının kullanılmış olmasından kaynaklanmıştır. Low-e katmanın cam tabakanın 3. yüzeyinde bulunması saydam yüzeydeki güneş ısı geçirgenliğini düşürerek iç ortamın aşırı ısınmasını önlemiştir ve cam tabakalar arasında argon gazının kullanılmış olmasından dolayı iç ortamda sağlanan ısı konforunun korunmasını sağlayarak soğutma enerji tüketiminde tasarruf sağlanmıştır.

Kış aylarında saydam yüzeylerden geçen güneş ısı ve ışınlamalarının iç ortamın sıcaklık değerini arttırması istenilen bir durumdur. Yaz aylarında ise iç ortamın aşırı sıcaklık artışına karşılık saydam yüzeylerden geçen güneş ısı ve ışınlamalarının kontrolünün sağlanması bir önlem olarak tercih edilmektedir. Ilıman-nemli iklim bölgelerinde yazları ılıman, kışları az soğuk olmaktadır. Şiddetli kışlar ve çok sıcak yazlar görülmemektedir. Yaz ve kış aylarındaki sıcaklık farkının az olduğu, insan

konforuna en yakın özellikler gösteren iklim tipidir. Yıl genelinde sıcak hava ve soğuk hava dağılımı dengeli olduğundan dolayı güneşten ve rüzgârdan korunmak ve yararlanmak gerekmektedir. Ancak ısıtma enerjisine daha çok ihtiyaç duyulmaktadır [Kısa Ovalı, 2019].

Sonuç olarak, ısıtma ihtiyacının daha fazla yaşandığı ılıman-nemli iklim bölgesinde ısıtma enerji tüketiminde tasarruf sağlamak cam tabaklar arasında argon gazının kullanılmış olması daha etkin performans sağlamıştır. Low-e katmanlı cam türünün bulunduğu konum görece daha az önemde olduğu görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda ılıman-nemli iklim bölgelerinde ısıtma enerji yüklerinin azaltılması için öncelikle cam tabaklar arasında argon gazının kullanılması tercih edilmesi gereken bir durum olup low-e katmanının camın 3. yüzeyinde kullanılması da etkinlik sağladığından dolayı tercih edilmelidir. Ayrıca ılıman-nemli iklim bölgelerinde soğutma enerji yüklerinin azaltılması için de low-e katmanının camın 3. yüzeyinde kullanılması ve cam tabaklar arasında argon gazının kullanılması etkin performans sağladığından dolayı tercih edilmelidir.

Ek olarak, mevcut binaların cephe iyileştirmesinde cam bileşen olarak kullanılan low-e katmanlı camın bulunduğu konumun ve cam tabakalar arasında kullanılan gaz türünün enerji performansındaki önemi vurgulanmıştır. Tez çalışmasının sonuçlarına dayanarak ılıman-nemli iklim bölgesinde bulunan mevcut ofis bina cephelerinin çift kabuk cephe sistemine bağlı enerji etkin iyileştirme çalışması yapmak isteyen tasarımcılara, uygulamacılara, araştırmacılara ve akademisyenlere yol gösterici olması hedeflenmektedir.

Mevcut ofis binalarının çift kabuk cephe sistemine bağlı enerji etkin iyileştirmesi üzerinde çalışmak isteyen araştırmacılar için gelecek çalışma önerileri aşağıda verilmiştir;

- Bu tez çalışmasında sabit kabul edilen değişkenlerin parametre değerleri değiştirilerek binanın enerji etkinliği üzerindeki performansları araştırılabilir.
- Çift kabuk cephe sisteminde kapalı olarak kabul edilen menfezlerin açılabilir olma durumu değerlendirilerek soğutma enerji tüketimindeki etkisi araştırılabilir.
- Bu çalışmada ılıman-nemli iklim verileri ele alınmıştır. Türkiye'deki diğer iklim bölgeleri için low-e katmanlı cam türünün konumunun ısıtma ve soğutma enerji tüketim performansları incelenebilir.

- Low-e katmanlı cam türünün aydınlatma enerji tüketimindeki performansı araştırılabilir.
- Mevcut binaların çift kabuk cephe sistemine bağlı iyileştirme çalışmasının maliyet yönünden değerlendirmesi yapılabilir.
- Çift kabuk cephe sistemine bağlı iyileştirme sonucu cepheye ilave edilen ek malzemeden kaynaklı artan enerji yükünün hesaplanması ve değerlendirilmesi yapılabilir.

KAYNAKLAR

Alakavuk E., (2010), "Sıcak İklim Bölgelerinde Çift Kabuk Cam Cephe Sistemlerinin Tasarımı İçin Kullanılabilecek Bir Yaklaşım". Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İzmir.

Ayçam İ., (1998), "Pencerelerin Isıl Performansının Artırılmasına Yönelik İyileştirme Teknikleri". Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara.

Ayçam İ., (2011), "Enerji Etkin Ofis Binalarında Gelişmiş Cephe Sistemlerinin İncelenmesi", X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, s. 1593-1609, İzmir, 13/16 Nisan 2011.

Bakkal S., (2019), "Eğitim Binalarında Çift Kabuk Cephe Sistemleri Kullanımlarına Bağlı Enerji Etkin İyileştirme Örnekleri". Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Trabzon.

Balaras C., Dascalaki E., Drousa P., Kontoyiannidis S., (2003), "European Methodologies and Software for Decision Making During the Assessment of Building Retrofit Strategies", Paper for International Conference on Environmental Technology, HELECO'03.

Bartak M., Drkal F., Hensen J., (2001), "Design Support Simulations for a Double-Skin Facade", Proceedings Of The 1st International Conference on Renewable Energy in Buildings, (S. 126-29), Prague, Czech Republic, 15-16 November 2001.

Başarır B., Diri B., (2014), "Bina Cephelerinin Yenilenmesinde Kullanılan Stratejiler", 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, s. 109, İstanbul, Beşiktaş, 3-4 Nisan 2014.

Berköz E., Küçükdoğu M., Koçlar Oral G., (1996), "Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı", Enerji Dergisi, 1, s. 50-54.

Bölük E., (2016), "Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi", Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

Casini M. (2016), "Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance", 1st Edition, Woodhead Publishing.

Çakır Kıasfı G., (2015), "Enerji Etkin Çift Kabuk Cephe Sistemlerinin İstanbul'a Uygunluğunun Analizi", Doktora Tezi, Haliç Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Çetiner İ., (2002), "Çift Kabuklu Cam Cephelerin Enerji ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Çetintaş K. F., (2004), "Çift Kabuklu Cephelerin Isı Kayıplarının Hesaplanmasında Kullanılabilecek Yeni Bir Yaklaşım", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Çiçek Y., (2019), "Bina Cephelelerinde Yaygın Olarak Kullanılan Malzemelerin Isıl Performanslarının Farklı İklim Bölgelerine Göre Karşılaştırılması: Toki Örneği", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Dikmen Ç. B., (2011), "Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi", Politeknik Dergisi, 14(2), s. 121-134.

Farahbakhsh E. B., (2014), "Cam Yapı Malzemelerinin Farklı Derece Gün Bölgelerindeki Enerji Performanslarının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara.

Gamas Villamil A., (2014), "Environmentally responsive buildings: Multi-objective optimization workflow for daylight and thermal quality", University of Southern California, Los Angeles.

Givoni B., (1976), "Man, Climate and Architecture", 2nd Edition, Applied Science Publishers.

Göksal Özbalt T., Yıldız Y., (2019), "Sıcak- Nemli İklimde Çift Kabuk Cephe Enerji Performansının İncelenmesi". Metu jfa, 36:1, s. 137-156.

Göksal T., Özbalt N., (2002), "Enerji Korunumunda Düşük Enerjili Bina Tasarımları", Mühendis ve Makina, 43(506), s. 26-32.

Griffith B., Kohler C., Goudey H., Turler D., Arasted D. (1998), "Rapid Field Testing Of Low-Emittance Coated Glazings For Product Verification", ASHRAE/DOE/BTECC Conference, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII, Clearwater Beach, Florida, December 7-11, 1998.

Haase M., (2008), "Double-Skin Facades in Hong Kong", PhD Thesis, Hong Kong University, Department of Architecture, Hong Kong.

İnan T., Başaran T., (2013), "Çift Cidarlı Cephelelerde Etkin Mimari Tasarım Kararları", SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 17(3), s. 427-36.

İnan T., Başaran T., (2015), "Çift Cidarlı Cephele: Avantajları ve Dezavantajları", Tesisat Mühendisliği, 15:28, s. 80-86.

İnan T., Başaran T., (2014), "Çift Cidarlı Cephele Üzerine Bir Araştırma", Megaron, 9(2), s. 132-142.

Karaca Ö., (2011), "İstanbul'da Mevcut Bir Büro Yapısının Enerji Etkin Yenilemesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Kısa Ovalı P., (2019), "Biyoklimatik Tasarım Matrisi (Türkiye)", Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(2), s. 51- 66.

Koca Ö., (2006), "Sıcak Kuru ve Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarım İlkelerinin Belirlenmesine Yönelik Yaklaşım", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Kocaaslan G., (1991), "Hacimlerin Pasif Isıtma Sistemleri Olarak Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Lakot E., (2007), "Ekolojik ve Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Enerji Etkin Çift Kabuklu Bina Cephe Tasarımlarının Günümüz Mimarısındaki Yeri ve Performansı Üzerine Analiz Çalışması", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon.

Maçka S., (2008), "Türkiye İklim Bölgelerine Göre Enerji Etkin Pencere Türlerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık, Trabzon.

Maçka S., Yaşar Y., (2011), "The Effects of Window Alternatives on Energy Efficiency And Building Economy In High – Rise Residential Buildings In Cold Climates", Gazi University Journal of Science, 24(4), s. 927-944.

Madarati A., (2021), "Toki Yatay Mimari Konutları Enerji Verimliliği Çalışması – Karabük Örneği Üzerinde Modül Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Makris M. P., (2013), "Structural Design Tool for Performative Building Elements: A Semi-Automated Grasshopper Plugin for Design Decision Support of Complex Trusses", Master of Building Science, University of Southern California, Los Angeles.

Mangan S. D., Koçlar Oral G., (2014), "Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin İyileştirilmesi", Tesisat Mühendisliği, (143), s. 37-46.

Manioğlu G., Koçlar Oral G., (2010), "Ekolojik Yaklaşımda İklimle Dengeli Cephe Tasarımı", 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 15-16 Nisan 2010.

Norouzi R., Motalebzade R., (2018), "Effect of Double-Skin Façade on Thermal Energy Losses in Buildings", Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions, s.193-209.

Ölmez D., (2013), "Çok Katlı Ofis Yapılarında Camlı Yüzeyin Isıl Performansının Arttırılmasına Yönelik İyileştirme Alternatiflerinin İrdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara.

Özdemir B. B., (2005), "Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması,. Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Özler M. E., (2003), "Akıllı Binalarda Enerji Etkin Tasarım Parametreleri", İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Öztürk M., Çetinkaya G., Aydın S., (2017), "Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim" Coğrafya Dergisi, 35, s. 17-27.

Pomponi F., Piroozfar P. A., Southall R., Ashton P., Farr E. R., (2016), "Energy performance of Double-Skin Façades in temperate climates: A systematic review and meta-analysis", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, s. 1525-1536.

Rawn W., (2009), "Case Study: A Double Skin Glass Wall", Boston: Cambridge Public Library.

Soysal S., (2008), "Konut Binalarında Tasarım Parametreleri ile Enerji Tüketimi İlişkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Mimarlık, Ankara.

Tıkır A., (2009), "İstanbul'da Mevcut Bir Konutun Dış Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenmesi ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Tibet M. O., (2004), "Çift Kabuk Cephe Sistemleri", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara.

TS825, (2013), "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı", Türk Standardı Enstitüsü. Ankara: Türk Standardı Enstitüsü.

TS825, (2018), "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türktaş M. H., (2014), "Sıcak Nemli İklim Bölgesi için İklimsel Tasarım Parametrelerinin Isıl Performansa Etkisini Değerlendirme: Bir Konut Örneği", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, İstanbul.

Ulukavak Harputlugil G., (2011), "Enerji Performansına Dayalı Tasarımda Analiz ve Simülasyon", Megaron, 6(1), s. 1-12.

Ulukavak Harputlugil G., (2016), "Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri", Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti, Ankara.

Utkuğ G., (2000), "Yeni Yüzyıla Girerken Bina Tasarımı Ekoloji/ Enerji Etkin/ Akıllı Bina", IV. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilim ve Teknoloji Sempozyumu, İstanbul.

Ünal M., (2006), "Çift Kabuk Cephelerin Sistemik Analizi ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Web 1, (2019), <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800>, (Erişim Tarihi: 29/11/2021).

Web 2, (2022), http://www.yapi.com.tr/haberler/sifir-enerji-binalar-ile-gelecegi-insa-et-deklarasyonu-imzaya-acildi_189097.html, (Erişim Tarihi: 19/05/2022).

Web 3, (2017), <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180102M1-1-1.pdf>, (Erişim Tarihi: 27/05/2022).

Web 4, (2021), <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800>, (Erişim Tarihi: 18/07/2021).

Web 5, (2011), <http://facadesconfidential.blogspot.com/2011/11/steiff-factory-and-birth-of-curtain.html?m=1>, (Erişim Tarihi: 08/11/2021).

Web 6, (2015), <https://smarthistory.org/otto-wagner-postal-savings-bank/>, (Erişim Tarihi: 28.09.2021).

Web 7, (2021), <https://en.wikiarquitectura.com/building/narkomfin-building/>, (Erişim Tarihi: 25/06/2021).

Web8,(2004),https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/CR/CR03_Ventilated_Double_Facades.pdf, (Erişim Tarihi: 27.07.2021).

Web9,(2021),<https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/gunesspectrumu.pdf>, (Erişim Tarihi: 19/09/2021).

Web 10, (2021), <https://yalitimli-aluminyum.com/solar-kontrol-gunes-isisi>, (Erişim Tarihi: 29/09/2021).

Web 11, (2021), <http://www.kackarcam.com/renksiz-duzcam.html>, Erişim Tarihi: 22/12/2021.

Web 12, (2021), <https://duzcam.sisecam.com/tr/mimari-camlar/performans-hesaplayici>, Erişim Tarihi: 21/12/2021.

Web 13, (2021), <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx>, (Erişim Tarihi: 03/08/2021).

Web 14, (2022), <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI>, Erişim Tarihi: 26/01/2022.

Zeren L., (1959), "Mimaride Güneş Kontrolü", Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Zöllner A., Winter E., Viskanta R., (2002), "Experimental Studies of Combined Heat Transfer in Turbulent Mixed Convection Fluid Flows in Double Skin Facades" International Journal of Heat and Mass Transfer, 45(22), 4401-08.

ÖZGEÇMİŞ

Nevriye Sümeyye KAVAK, 2014 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümünü 2018 yılında onur derecesi ile başarıyla tamamlamıştır. 2019 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda başlamıştır.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Kavak N. S., Özer Yüksel E., (2021), “Cam Malzemenin Enerji Performansı Değerlendirmesinde Kullanılan Bina Simülasyon Araçları Üzerine Bir Araştırma”, 5. GTÜ Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, 10-11 Haziran 2021, Kocaeli, Türkiye.