T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE GÖLGELEME ELEMANI OLARAK PV SİSTEMLERİN OFİS BİNALARININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ABDULLAH UMUR GÖKSU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI FİZİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. GÜLAY ZORER GEDİK

İSTANBUL, 2016

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE GÖLGELEME ELEMANI OLARAK PV SİSTEMLERİN OFİS BİNALARININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdullah Umur GÖKSU tarafından hazırlanan tez çalışması 20.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Fiziği Programı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Gülay Zorer GEDİK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Gülay Zorer GEDİK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Seda TÖNÜK

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Dünyanın en önemli sorunlarından biri olan enerji sorunu ve beraberinde getirdiği çevre sorunlarının çözümü için mimar olarak yapılabilecek olan, enerjiyi verimli kullanan ve daha az enerji tüketen binalar tasarlamaktır. Bu sayede, doğrudan enerji sorununa, dolaylı olarak çevre sorunlarının azalmasına katkı sağlanacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşım, mimarlara daha az enerji tüketen binalar tasarlayabilmelerinde bir seçenek olacaktır.

Tez danışman hocam Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK'e tezimin gerçekleşmesi için yapmış olduğu yol göstericiliğe ve yardımları için teşekkür ederim.

Temmuz, 2016

Abdullah Umur GÖKSU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 5

BÖLÜM 2

ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN DEĞİŞKENLER 6

2.1 PV Sistemler 6
2.1.1 PV Hücre Tipleri 6
2.1.2 PV Sistem Bileşenleri 8
2.1.2.1 PV Modül 9
2.1.2.2 Taşıyıcı Sistem 9
2.1.2.3 Güç Düzenleme Sistemleri 9
2.1.2.4 Depolama Sistemi 10
2.1.2.5 Kablolar ve Bağlantı Elemanları 10
2.1.3 PV Sistem Performansını Etkileyen Değişkenler 10
2.1.3.1 Yapısal Değişkenler 11
2.1.3.2 Konumsal Değişkenler 11
2.1.3.3 İklime ve Gölgelenmeye Bağlı Değişkenler 15
2.1.3.4 Uygulamaya Bağlı Değişkenler 17

2.1.3.5 Bakım Onarım ve Temizliğe Bağlı Değişkenler 17
2.2 Gölgeleme Elemanları 19
2.2.1 Gölgeleme Elemanı Tipleri ve Çalışma İlkesi 19
2.2.2 Güney Cephesi ve Pasif Sistem Elemanı Olarak Yatay Gölgeleme Elemanı 22
2.2.3 Düşey Gölgeleme Elemanları 22
2.2.4 Görsel Verim Açısından Gölgeleme Elemanı Tasarımında Bir Yaklaşım 23
2.2.5 Gölge Eğrileri Yöntemi 24
2.3 İklim Bölgeleri 26
2.4 Ofis Binaları 28
2.4.1 Ofis Binasının Kullanım Aralığı, Kullanıcı Profili, Kullanıcı Yoğunluğu ve Ofis Binalarında Konfor Koşulları 29
2.4.2 Çok Katlı Ofis Binalarının Tarihi Gelişimine Enerji Korunumu Açısından Bakış 30
2.5 Bina Enerji Simülasyon Programı Kullanımı 31

BÖLÜM 3

GÖLGELEME ELEMANI OLARAK FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN OFİS BİNALARININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİ DEĞERLENDİREN BİR YAKLAŞIM 36

3.1 Yaklaşımın Amacı 36
3.2 Yaklaşımın Adımları 36
3.2.1 Çalışılacak İklim Bölgelerinin Tanımlanması 37
3.2.2 Ofis Binasının Tanımlanması 37
3.2.2.1 Referans Binanın Oluşturulması 38
3.2.2.2 %100 Saydamlık Oranındaki Binanın Oluşturulması 38
3.2.3 PV Sistem ile Bütünleşik Gölgeleme Elemanının Tasarlanması 39
3.2.3.1 PV Sistem ile Bütünleşik Yatay Gölgeleme Elemanı Tasarımı 39
3.2.3.2 PV Sistem ile Bütünleşik Düşey Gölgeleme Elemanı Tasarımı 41
3.2.4 Enerji Performans Analizlerinin Yapılması ve Değerlendirilmesi 43
3.2.4.1 %100 Saydamlık Oranındaki Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması 44
3.2.4.2 Referans Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması 44
3.2.4.3 Gölgeleme Elemanlarının Kullanıldığı Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması 44
3.2.4.4 Gölgeleme Elemanlarının PV Sistemle Oluşturulduğu Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması 44
3.2.4.5 Enerji Yüklerinin Karşılaştırılması ve PV Sistem ile Bütünleşik Gölgeleme Elemanının Etkinliğinin Belirlenmesi 44

BÖLÜM 4

GÖLGELEME ELEMANI OLARAK FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN OFİS BİNALARININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİ DEĞERLENDİREN YAKLAŞIMIN UYGULANMASI 47

4.1 Uygulama Çalışmasının Amacı 47
4.2 Uygulama Çalışmasının Adımları 47

4.2.1 Çalışılacak İklim Bölgelerinin Tanımlanması 48
4.2.2 Ofis Binasının Tanımlanması 49
4.2.2.1 Referans Binanın Oluşturulması 49
4.2.2.2 %100 Saydamlık Oranında Binanın Oluşturulması 56
4.2.3 PV Sistem ile Bütünleşik Gölgeleme Elemanının Tasarlanması 56
4.2.3.1 PV Sistem ile Bütünleşik Yatay Gölgeleme Elemanı Tasarımı 57
4.2.3.2 PV Sistem ile Bütünleşik Düşey Gölgeleme Elemanı Tasarımı 67
4.2.4 Enerji Performans Analizlerinin Yapılması ve Değerlendirilmesi 72
4.2.4.1 %100 Saydamlık Oranındaki Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması 73
4.2.4.2 Referans Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması 74
4.2.4.3 Gölgeleme Elemanlarının Kullanıldığı Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması 76
4.2.4.4 Gölgeleme Elemanlarının PV Sistemle Oluşturulduğu Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması 77
4.2.4.5 Enerji Yüklerinin Karşılaştırılması ve PV Sistem ile Bütünleşik Gölgeleme Elemanının Etkinliğinin Belirlenmesi 79

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 86

KAYNAKLAR 91

EK-A

OLUŞTURULAN REFERANS BİNADA PV SİSTEM İLE BÜTÜNLEŞİK GÖLGELEME ELEMANI TASARIMINDAKİ HESAPLAMALAR 95

EK-B

OLUŞTURULAN SENARYOLARIN ENERJİ PERFORMANS ANALİZLERİNDE SİSTEMLERE GÖRE BİNANIN KWH TÜRÜNDEN ENERJİ TÜKETİMİ 102

SİMGE LİSTESİ

α_h	Bir pencerenin düşey gölge açısı
ac/h	Air changes per hour, bir hacmin saatteki hava dolum-boşaltım sayısı
β_h	Yatay gölgeleme elemanının yer düzlemi ile yaptığı açı
β_v	Pencere düzleminin normali ile düşey gölgeleme elemanı arasında kalan açı
clo	Giysilerin yalıtım değeri
δ	Deklinasyon açısı
d_h	Çok parçalı yatay gölgeleme elemanlarının merkezlerinin uzaklığı
d_v	Düşey gölgeleme elemanlarının merkezlerinden birbirine olan uzaklıkları
E_h	Yatay gölgeleme elemanının görsel verimi
E_v	Düşey gölgeleme elemanının görsel verimi
eV	Elektronvolt, 1 volt kere elektronun yüküne eşit olan enerjiye verilen ad
Hz	Hertz, frekans (sıklık) birimi, saniye başına düşen devir sayısı
h_w	Yatay gölgeleme elemanının gölgelendirdiği pencerenin yüksekliği
I	Akım, elektrikte akım şiddeti birimi (Amper, A)
J	Joule, enerji birimi
kWh	Kilowatt hour
kWp	Kilowatt peak
lux	Aydınlanma şiddeti
met	Metabolic Equivalent of Task, etkinlik düzeyi
ohms	Elektriksel direnç
P	Elektriksel güç (watt-W)
U	Isı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
U_D	Dış duvarların ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
U_p	Pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
U_T	Tavanın ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
U_t	Zemine oturan tabanın ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
w_v	Düşey gölgeleme elemanlarının genişliği
w_h	Yatay gölgeleme elemanının genişliği
V	Volt, elektrikte kullanılan potansiyel farkı (gerilim) birimi

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current (Alternatif Akım)
AM	Hava kütlesi katsayısı
BIPV	Building Integrated Photovoltaic (Binayla Bütünleşik Fotovoltaik)
CoP	Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi (Genel Müdürlüğü)
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
FCU	Fan Coil Unit (Havalandırma Ünitesi)
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
LED	Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature (Sözde Hücre Çalışma Sıcaklığı)
PN	İki zıt kutuplu yarıiletken arasındaki sınır.
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
STC	Standart Test Condition
TRNSYS	Transient System Simulation Tool
TS 825	825 Sayılı Türk Standartı (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartı)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Türkiye'de PV tiplerine göre üretilebilecek enerji değerleri [14] 8
Şekil 2. 2 PV sistem ölçekleri [15] 8
Şekil 2. 3 Yatay gölgeleme elemanında görsel verim değişkenleri [8] 24
Şekil 2. 4 Düşey gölgeleme elemanında görsel verim değişkenleri [8] 24
Şekil 2. 5 39° Enlemine ait gölge eğrileri [36] 26
Şekil 2. 6 GEPA'ya göre kWh/m2-yıl cinsinden toplam güneş radyasyonu dağılımı [14] 27
Şekil 2. 7 Avrupa ülkelerinde optimum eğimli fotovoltaiklerin güneşten elektrik üretme potansiyeli (a: Küresel ışıma-kWh/m2, b: Güneş elektriği-kWh/kWp) [39] ... 28
Şekil 3. 1 Güney cephesinde PV sistem ile bütünleşik sabit yatay gölgeleme elemanı için oluşturulan yaklaşım 41
Şekil 3. 2 Akış diyagramı 46
Şekil 4. 1 Antalya ili için güneşlenme süreleri (sol) ve global radyasyon değerleri (sağ) [14] 48
Şekil 4. 2 İstanbul ili için güneşlenme süreleri (sol) ve global radyasyon değerleri (sağ) [14] 49
Şekil 4. 3 Referans ofis binası normal kat planı 50
Şekil 4. 4 (a) Referans ofis binasının ön (güney) cephesi 51
Şekil 4. 4 (b) Referans ofis binasının arka (kuzey) cephesi 51
Şekil 4. 4 (c) Referans ofis binasının yan (doğu/batı) cephesi 52
Şekil 4. 5 Tefrişli ofis normal kat planı ve cephelerdeki saydam yüzey düzenlemesinin ilişkisi 53
Şekil 4. 6 %100 saydamlık oranındaki bina 56
Şekil 4. 7 İstanbul iline ait dış hava sıcaklığı eğrileri [49] 58
Şekil 4. 8 İstanbul'da karakteristik gün ve saatteki güneşin konumuna göre yatay gölgeleme elemanının tasarlanma aşamaları 59
Şekil 4. 9 İstanbul'da karakteristik gün ve saatteki güneşin konumu ve yatay gölgeleme elemanı 59
Şekil 4. 10 İstanbul'daki referans binada yatay eleman ile PV modül ilişkisi 60
Şekil 4. 11 (a) 1 ekim saat 12:00'de İstanbul'daki yatay gölgeleme elemanlı referans binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ) 62
Şekil 4. 11 (b) 1 ekim saat 12:00'de İstanbul'daki referans binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ) 63
Şekil 4. 11 (c) 1 ekim saat 12:00'de İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ) 63

Şekil 4. 12 Antalya iline ait dış hava sıcaklığı eğrileri [49] 64
Şekil 4. 13 Antalya'da karakteristik gün ve saatteki güneşin konumuna göre yatay gölgeleme elemanının tasarlanma aşamaları 65
Şekil 4. 14 Antalya'da karakteristik gün ve saatteki güneşin konumu ve yatay gölgeleme elemanı 65
Şekil 4. 15 Antalya'daki referans binada yatay eleman ile PV modül ilişkisi 66
Şekil 4. 16 (a) 1 kasım saat 12:00'de Antalya'daki yatay gölgeleme elemanlı referans binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ) 66
Şekil 4. 16 (b) 1 kasım saat 12:00'de Antalya'daki referans binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ) 67
Şekil 4. 16 (c) 1 kasım saat 12:00'de Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ) 67
Şekil 4. 17 (a) 1 ekim saat 15:00'de İstanbul'daki düşey gölgeleme elemanlı referans binanın batı cephesi (sol) ve planı (sağ) 68
Şekil 4. 17 (b) 1 ekim saat 15:00'de İstanbul'daki referans binanın batı cephesi (sol) ve planı (sağ) 69
Şekil 4. 17 (c) 1 ekim saat 15:00'de İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın batı cephesi (sol) ve planı (sağ) 69
Şekil 4. 18 İstanbul'daki referans binada düşey eleman ile PV modül ilişkisi 70
Şekil 4. 19 İstanbul'daki referans bina üzerinde PV sistemle bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımı perspektif görüntüsü 70
Şekil 4. 20 (a) 1 kasım saat 10:00'da Antalya'daki düşey gölgeleme elemanlı referans binanın doğu cephesi (sol) ve planı (sağ) 71
Şekil 4. 20 (b) 1 kasım saat 10:00'da Antalya'daki referans binanın doğu cephesi (sol) ve planı (sağ) 71
Şekil 4. 20 (c) 1 kasım saat 10:00'da Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın doğu cephesi (sol) ve planı (sağ) 71
Şekil 4. 21 Antalya'daki referans bina üzerinde PV sistemle bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımı perspektif görüntüsü 72
Şekil 4. 22 İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın perspektif görüntüsü 73
Şekil 4. 23 Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın perspektif görüntüsü 74
Şekil 4. 24 İstanbul'daki referans binanın perspektif görüntüsü 75
Şekil 4. 25 Antalya'daki referans binanın perspektif görüntüsü 75
Şekil 4. 26 İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın perspektif görüntüsü 76
Şekil 4. 27 Antalya'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın perspektif görüntüsü 77
Şekil 4. 28 İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın perspektif görüntüsü 78
Şekil 4. 29 Antalya'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın perspektif görüntüsü 78
Şekil 4. 30 İstanbul'daki 4 farklı bina senaryosunun enerji tüketim değerleri 80
Şekil 4. 31 İstanbul'daki farklı bina senaryolarının %100 saydamlık oranındaki binaya göre net enerji tüketiminde azalma yüzdeleri 81
Şekil 4. 32 Antalya'daki 4 farklı bina senaryosunun enerji tüketim değerleri 82

Şekil 4. 33 Antalya'daki farklı bina senaryolarının %100 saydamlık oranındaki binaya göre net enerji tüketiminde azalma yüzdeleri 83
Şekil 4. 34 İstanbul ve Antalya illerindeki farklı bina senaryolarının net enerji tüketim değerlerinin karşılaştırılması 84
Şekil 4. 35 İstanbul ve Antalya illerindeki farklı bina senaryolarının net enerji tüketim değerlerinin karşılaştırılması (çizgi gösterim)..... 84
Şekil A. 1 Gölge eğrileri üzerinde İstanbul için belirlenen karakteristik gün ve saatteki (1 ekim saat 12:00) 1 metrelik P çubuğunun gölgesi 96
Şekil A. 2 Gölge eğrileri üzerinde Antalya için belirlenen karakteristik gün ve saatteki (1 kasım saat 12:00) 1 metrelik P çubuğunun gölgesi..... 98
Şekil A. 3 (a) Doğu cephesinde farklı w/d oranlarındaki gölgeleme elemanlarının güneş etkinliklerinin gölge eğrileri üzerinde gösterilmesi..... 100
Şekil A. 3 (b) Batı cephesinde farklı w/d oranlarındaki gölgeleme elemanlarının güneş etkinliklerinin gölge eğrileri üzerinde gösterilmesi..... 100

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 PV sistemler 18
Çizelge 4. 1 Simülasyon programında etkinlik değişkenleri ile ilgili yapılan seçimler 54
Çizelge 4. 2 Simülasyon programında HVAC değişkenleri ile ilgili yapılan seçimler 55
Çizelge 4. 3 (a) Shell ST40 PV tipinin genel özellikleri [42], [43] 61
Çizelge 4. 3 (b) Shell ST40 PV tipinin akım, voltaj ve NOCT özellikleri [42], [43] 62
Çizelge 4. 4 Kategorilere göre İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın kWh/m2 türünden enerji tüketimi 74
Çizelge 4. 5 Kategorilere göre Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın kWh/m2 türünden enerji tüketimi 74
Çizelge 4. 6 Kategorilere göre İstanbul'daki referans binanın kWh/m2 türünden enerji tüketimi..... 75
Çizelge 4. 7 Kategorilere göre Antalya'daki referans binanın kWh/m2 türünden enerji tüketimi..... 76
Çizelge 4. 8 Kategorilere göre İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın kWh/m2 türünden enerji tüketimi 76
Çizelge 4. 9 Kategorilere göre Antalya'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın kWh/m2 türünden enerji tüketimi 77
Çizelge 4. 10 Kategorilere göre İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın kWh/m2 türünden enerji tüketimi 78
Çizelge 4. 11 Kategorilere göre Antalya'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın kWh/m2 türünden enerji tüketimi 79
Çizelge A. 1 Sistemlere göre İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın kWh türünden enerji tüketimi 102
Çizelge A. 2 Sistemlere göre Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın kWh türünden enerji tüketimi 103
Çizelge A. 3 Sistemlere göre İstanbul'daki referans binanın kWh türünden enerji tüketimi..... 103
Çizelge A. 4 Sistemlere göre Antalya'daki referans binanın kWh türünden enerji tüketimi..... 104
Çizelge A. 5 Sistemlere göre İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın kWh türünden enerji tüketimi 104
Çizelge A. 6 Sistemlere göre Antalya'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın kWh türünden enerji tüketimi 105
Çizelge A. 7 Sistemlere göre İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın kWh türünden enerji tüketimi 105

Çizelge A. 8 Sistemlere göre Antalya'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın kWh türünden enerji tüketimi 106

ÖZET

FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE GÖLGELEME ELEMANI OLARAK PV SİSTEMLERİN OFİS BİNALARININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdullah Umur GÖKSU

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Tüm dünyanın enerjiye olan bağımlılığına karşın kullanmakta olduğumuz fosil yakıt rezervleri tükenme sınırına yaklaşmaktadır. Fosil yakıtlar enerji üretimi için kullanıldığında çevreye zararlı yan ürünler çıkmaktadır ve bu durum çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu durum tüm dünyayı yeni enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir.

Binalar pasif bina kriterlerine göre tasarlanıp aktif ve yenilenebilir enerji sistemleri ile donatıldığında binanın enerji talebi düşecektir. Bu sayede fosil yakıt kaynaklı enerji tüketimi düşürülebilecektir.

Bu çalışmanın amacı, PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı kullanarak hem tüm yıl enerji üreterek hem de soğutma döneminde saydam alanları gölgelendirip iç kazançları azaltarak binanın şebeke kaynaklı enerji tüketimini azaltmaktır. Çalışmanın sınırlandırılması açısından sabit gölgeleme elemanları ve enerji tüketiminin yüksek olduğu ofis tipi binalar seçilmiştir. Belirlenen amacı gerçekleştirmek için bir yaklaşım oluşturulmuştur.

Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır.

İlk bölümde, konuyla ilgili yapılan çalışmalar değerlendirilmiş, tezin amacı anlatılmış ve çalışmanın sonucundan beklenenler açıklanmıştır.

İkinci bölümde, tez çalışması kapsamında kullanılacak değişkenler incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, gölgeleme elemanı olarak PV sistemlerin ofis binalarının enerji performansına etkisinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, oluşturulan yaklaşımın uygulaması yapılmış ve yaklaşımın sonuçları değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde, tez çalışması kapsamında elde edilen sonuç ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: bina ile bütünleşik fotovoltaik (BIPV), fotovoltaik (PV), gölgeleme elemanları, yenilenebilir enerji, iklimle dengeli bina tasarımı, soğutma yükü

ABSTRACT

EVALUATION OF THE EFFECT OF ENERGY PERFORMANCE OF PV SYSTEMS' AS SHADING DEVICE OF OFFICE BUILDINGS' IN THE DIFFERENT CLIMATE REGIONS

Abdullah Umur GÖKSU

Department of Architecture

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Although all the world's dependence on energy, fossil fuel reserves are approaching the exhaustion limits which we are using. When fossil fuels used for energy production stands out environmentally harmful by-products and this situation leads to environmental pollution. This situation has lead the world to the quest for new sources of energy.

When buildings are designed according to the passive buildings criteria and equipped with active and renewable energy systems, building's energy demand will be reduced. In this way conventional energy-related energy consumption can be reduced.

The purpose of this study, using the integrated PV systems with shading elements is to reduce the gridbased energy consumption of the building as by generating energy all year as well as by reducing internal gains protect from the sun transparent areas during the cooling. Fixed shading elements and office type buildings with a high energy consumption are selected to limit the work. One approach is formed to achieve the defined object.

The thesis consists of five chapters.

In the first chapter, studies conducted on the subject are evaluated, the aim of the thesis is described and the expected results of the study are explained.

In the second chapter, the variables to be used in the thesis are examined.

In the third chapter, an approach is described which can be used for assessing the impact on the office building energy performance as a shading element PV system.

In the fourth chapter, application of established approach is made and the results of the application are evaluated.

In the fifth chapter, within this thesis the results obtained and recommendations are presented.

Keywords: building integrated photovoltaics (BIPV), photovoltaic (PV), shading devices, renewable energy, building design balanced with climate, cooling load

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Enerji sorunu yakın geçmişten günümüze taşınan, gelecek için de önem taşıyan bir konudur. Nasıl ki bir hücre yapısının yaşamsal faaliyetleri için enerji zorunlu ise dünya yaşam mekanizmalarının ve en önemlisi insan yaşamının sürdürülebilirliği açısından da enerji ihtiyacı kaçınılmazdır. Tüm dünyanın enerjiye olan bu bağımlılığına karşın geleneksel olarak kullanmakta olduğumuz fosil yakıt rezervleri tükenme sınırına yaklaşmaktadır.

Enerji üretimi ve tüketimi çevreyi etkileyen sonuçlar doğurmaktadır. Fosil yakıtlar enerji üretimi için kullanıldığında çevreye zararlı yan ürünler çıkmaktadır ve bu durum çevre kirliliğine neden olmaktadır. Çevre kirliliğinin sonuçlarından birisi olarak küresel ısınma, döngüsel bağlamda enerji kaynaklarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Tüm bunlar tüm dünya gibi Türkiye'yi de yeni enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir. Bu bağlamda, çevreyi kirletmeyen, ülkelerin enerji açısından birbirine bağımlılığını ortadan kaldıran, bol ve temiz yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ön plana çıkmaktadır. Türkiye coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir ülkedir.

Mimarlık mesleğinin günümüzdeki işlevsel, estetik ve ekonomik olma öncelikleri arasına artık çevre duyarlılığının da (sürdürülebilirliğin de) eklenmesi gerekmektedir. Binaların yaşam döngüleri boyunca çevre ile barışık olabilmeleri için pasif bina kriterlerine uygun tasarlanmaları bunun yanında etken ve yenilenebilir enerji sistemleri ile donatılmaları beklenmektedir. Bu sayede bina, yaşamı boyunca pasif şekilde enerji

(ısıtma, soğutma ve aydınlatma) yüklerini düşürerek enerji talebini azaltacak ayrıca yenilenebilir ve etken sistemleri enerji ihtiyacını gidermede kullanabilecektir. Sonuçta konvansiyonel enerji talepleri düşürülebilecektir.

Fotovoltaik panellerin dünyada bilhassa Avrupa'da kullanımı Türkiye'den önce başlamıştır. Günümüzde PV ve diğer etken (aktif) sistemlerin kullanımı Avrupa'da yönetmeliklerde yerini almıştır. Gelişmiş Avrupa ülkeleri verimine karşın maliyetli olan bu sistemleri yapılarında yoğun biçimde kullanmaktadırlar ve kullandıkları bu sistemler üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Avrupa Birliği, binalarda enerji performansı direktifi (EPBD recast) ile etken sistemlerin yapılarda kullanımını içeren kapsamlı bir çalışma yayımlamıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan PV sistemlerden yararlanma yakın zamanda önem kazanmaya başlamıştır ve bu nedenle üretilen çalışmalar daha sınırlıdır. PV sistemlerin binaya sonradan eklenmesine dayalı mühendislik çalışmalarının yanında bina tasarımının bir parçası olarak ele alındığı mimari ve mühendislik çalışmaları daha da azdır.

Fotovoltaik sistemlerin gölgeleme elemanı olarak binalarda kullanımı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, PV sistemlerin gölgeleme elemanı olarak kullanılması, gölgeleme elemanlarının incelenmesi, PV sistemlerin binalarda kullanılması, PV sistemlerin enerji performanslarının incelenmesi, yenilenen binalarda aktif sistemlerin kullanımı kapsamında PV sistemlerin maliyet etkinlik analizleri gibi çalışmalara ulaşılmaktadır. Tez çalışmasının iki eksenini oluşturan PV sistemler ve gölgeleme elemanlarının hem birlikte ele alındığı hem de ayrı ayrı incelendiği çalışmalar önemli referans kaynaklarıdır.

Sürdürülebilirlik bağlamında mimaride güneş enerjili etken sistemlerin binalarda kullanımıyla ilgili bir çalışmada PV sistemler irdelenmiş ve binalarla bütünleştirilme seçenekleri anlatılmıştır. Çalışmanın bir bölümünde PV sistemlerin bina tasarım ögesi olarak kullanılabileceği alanlardan birinin gölgeleme elemanı olduğu belirtilirken, bu konudaki çalışma boşluğuna dikkat çekilmiştir [1].

Enerji ve maliyet etkinliği ile ilgili bir çalışmada binalarda enerji üreten bir sistem olarak PV sistemlerin enerji performansını etkileyen değişkenlerden bahsedilmiş ve binanın yaşam döngüsü içindeki katkısı ele alınmıştır [2].

Bir başka çalışmada, PV sistemler incelenmiş, üzerinde yer alacağı binayla birlikte enerji performansını etkileyecek değişkenler ele alınmış ardından farklı bina formlarında enerji ve maliyet etkinliği açısından incelenmiştir [3].

Bina tasarım parametrelerinin enerji harcamalarına etkisiyle ilgili bir çalışmada aktif sistemler altında PV sistemlerin binayla hangi durumlarla birleşebileceği incelenmiştir[4].

Mevcut bir ofis binasının enerji etkin yenilenmesi kapsamındaki bir çalışmada, ofis binaları enerji ilişkisi anlatılmış ve bir ofis binasında enerji etkinliği açısından ilgili başlıklar belirlenmiş ve soğutma kapsamında gölgeleme elemanları ele alınmıştır [5].

PV sistemlerin bina kabuk elemanlarıyla bütünleştirilmesine yönelik bir çalışmada, PV sistemlerin binaya, tasarım esnasında ve sonradan eklenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir [6].

Bir diğer çalışma Türkiye'de binalarda enerji verimliliği açısından PV sistemlerin kullanım yerlerine yönelik bir araştırma gerçekleştirmiştir. Buradaki çalışmada da PV sistemlerin binalarda kullanım seçeneklerinden birinin gölgeleme elemanı olduğundan bahsedilmiş detayına girilmemiştir [7].

Pencerenin baktığı yöne bağlı olarak bir gölgeleme elemanı tasarımının anlatıldığı bir çalışmada ise gölgeleme eleman tipinin ve boyutunun belirlenmesine yönelik kriterler belirlenmiştir [8].

Sabit ve parçalı yatay gölgeleme elemanının ele alındığı bir çalışmada, bir simülasyon programı aracılığıyla bunun ısıl performansa etkisi değerlendirilmiştir [9].

Dış çevre verilerinin hesaba katıldığı, PV sistemlerin gölgeleme elemanı olarak kullanımıyla ilgili bir çalışmada, referans binanın tasarım değişkenleriyle (parametreleriyle) birlikte enerji performansında sağlanacak iyileşme ve binanın içinde bulunduğu çevrenin PV sistemlere etkisi hesaba katılmıştır [10].

Gölgeleme elemanı olarak kullanılan PV sistemlerin verimliliğini etkileyen değişkenlerin incelendiği bir çalışmada bir yıl boyunca ölçümler yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir[11].

Mimarların ele aldığı çoğu çalışmada PV sistemlerin binalarla bütünleştirilme biçimlerine ağırlık verildiği görülmektedir. Bununla birlikte PV sistemlerle ilgili genel bilgilendirmeler yapılmış ve performansı etkileyen değişkenler incelenmiştir.

Sadece PV tasarım ve performanslarıyla ilgili yapılan çalışmalar ise mühendislik yanı ağır basan, bina tasarım parametreleri ile uyumu gözetilmeyen çalışmalar durumuna düşmektedir.

Konuyla ilgili olan çalışmaların çoğu hem PV sistemlerin hem de gölgeleme elemanlarının güneşin hareketine bağlı tasarlanmaları gerekliliğinden dolayı belli bir konuma göre yapılmıştır. Bu bakımdan birçok parametrenin genellenebilirliği kısıtlıdır[10].

Ülkenin ekonomik durumuna göre maliyetin kazandığı anlam ve coğrafi koordinatlara ve farklı iklim bölgelerine göre güneş etken sistem çalışmalarının anlamları değişebildiğinden konuyla ilgili çalışmaların yerelliği önem kazanmaktadır. "Türkiye'de fotovoltaik panellerin aynı zamanda yapı tasarımının bir parçası olarak gölgelendirme elemanı olarak kullanılması üzerine literatür boşluğu vardır" [1].

1.2 Tezin Amacı

Enerji talebimizin büyük payını konvansiyonel yakıt türlerinden karşılıyor olmamız ve bunun çoğunu da ithal ediyor olmamız ülke ekonomisine yük oluşturmaktadır. Enerji ihtiyacımızı ithal ettiğimiz ülkelere enerji açısından bağımlı olmamız siyasi olarak da bağımlılığa sebep olmaktadır. Tüm bunlar beraberinde riski de getirmektedir. Bu riski oluşturan, konvansiyonel yakıt rezervlerinin tükenme tehlikesi ve ithal edilen ülkelerin siyasi tutumlarına göre enerji talebinin karşılanmasında tehlike oluşma ihtimalidir. Yapılan çalışmadan bu risklerin azaltılmasına katkıda bulunması beklenmiştir.

Bir diğer beklenti, mimarlık mesleğinin ürünü olan binalarımızın çevreyle uyum içinde tasarlanmaları ve çevreye verdikleri zararı en aza indirmektir. Binaların enerji ihtiyacını azaltmak ve bunu olabildiğince yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılamak, sürdürülebilir mimarlığın da temel ilkelerindendir.

Bu bağlamda öncelikle binanın kendisinin pasif sistem olarak, dış iklim verilerine uygun tasarlanması gerekir. Bu tür bir planlamada dış iklim koşullarının denetiminin yanında

ana enerji kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanma uygulamalarına yer vermek gerekir.

Kapsamı sınırlı tutulan bu tez çalışmasının amacı, iklimle dengeli tasarım parametrelerine uygun tasarlanmış bir binada PV sistem uygulanan gölgeleme elemanlarının binanın enerji performansına etkisinin belirlenmesi, sistemin enerji etkinliğinin değerlendirilmesidir.

1.3 Hipotez

Yürütülen tez çalışmasından beklenen, ofis tipi binalarda, çalışma saatlerinde gölgeleme elemanı olarak kullanılan PV sistemlerin, soğutma yüklerini düşürerek bina enerji talebini azaltması bunun yanında elektrik enerjisi üreterek bina enerji talebinin bir kısmını karşılamasıdır. Bu sayede, hem enerji talebini azaltarak hem de yenilenebilir enerji kullanılarak şebekeden alınan konvansiyonel yakıt kaynaklı enerji azaltılmış olacaktır. Gün içinde üretilen elektrik enerjisinin talebi aşan kısmı şebekeye satılacaktır.

Diğer bir deyişle, bina tasarımıyla bütünleşik PV sistemli gölgeleme elemanı uygulamasıyla, binanın enerji yüklerinin etken ve edilgen yöntemlerle azaltılmasının sağlanması beklenmektedir.

Çift işlevli olarak çalışacak PV sistemleri, gölgeleme işlevi ve enerji üretimi ile yaz aylarında ön plana çıkarken, kış aylarında enerji üretimi ile ön plana çıkması beklenmektedir.

Uygulama toplamda, güneşe odaklı korunma ve yararlanma esaslı bir kurgudur. PV sistemli güneş kontrol elemanı, saydam alanları gölgelendirmesi yoluyla yaz döneminde istenmeyen ısı kazancını düşürerek soğutma yükünün azaltılmasını sağlayacaktır. Diğer yandan yapısı itibariyle bir fotovoltaik sistem olan gölgeleme elemanı, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneşten elektrik üretimi gerçekleştirecektir. Sistem, yenilenebilir enerji kaynağının, pasif bina tasarım ögesiyle bütünleşik sistem oluşturması olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle ve literatürde yer alan biçimiyle bina ile bütünleşik fotovoltaik (BIPV) sistemdir.

Bu bütünleşik sistemin, sıcak iklim bölgesinde binanın enerji performansına etkisinin yüksek olacağı ve bu etkinliğin iklim bölgesine göre değişeceği öngörülmüştür.

BÖLÜM 2

ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN DEĞİŞKENLER

2.1 PV Sistemler

Fotovoltaik teknolojisi, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmeyi sağlayan bir sistemdir. “Teknolojinin kaynağında yarı iletken malzemenin uçlarında oluşan elektrik geriliminden elektrik enerjisi elde edilmesi yatar” [1]. Gerilimin oluşmasını sağlayan da güneş enerjisidir. PV sistemin temelini oluşturan PV hücreler elektrik enerjisinin üretildiği en küçük birimdir.

2.1.1 PV Hücre Tipleri

PV hücrenin ana bileşenini oluşturan yarı iletken malzemenin türüne göre PV hücre tiplerinden bahsedilebilir. PV hücre yapımında kullanılan yarı iletken malzemeler iki ana grupta sınıflandırılabilir. Kristalize yarı iletkenler grubunda tekli kristalize silikon ve çoklu kristalize silikon yer alırken, ince film yarı iletkenler grubunda Galyum Arsenit, Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellürid, Bakır İndiyum Diselenid yer almaktadır. “Bu iki hücre grubunun dışında ince film ve kristal grubunun bir araya getirildiği hibrit silikon hücrelerle birlikte optik yoğunlaştırıcı hücreler yer almaktadır” [12].

Üzerlerinde çalışmaların yapıldığı yeni PV hücre tipleri bulunmaktadır. “Fotoelektrokimyasal çok kristalli titanyumdioksit hücreler, polimer yapılı plastik hücreler ve kuantum güneş hücreleri bunlardandır” [12].

Günümüzde en çok kullanılan PV hücre tipleri kristalize silikon ve ince film hücrelerdir. Hücre tipleri arasındaki önemli özellikler verim, maliyet ve bunun yanında kullanım

boyutu bilgileridir. PV hücre tiplerinin verimleri laboratuar ortamında (STC, 1000 W/m^2 güneş ışınımı, 25°C PV hücre sıcaklığı ve AM 1,5 güneş spektrumu) test edilmektedir fakat gerçek ortamlarda verim değerleri değişebilmektedir.

Kristalize silikon hücreler: Bu tip hücrelerden üretilen PV modüller belli plaka boyutlarındadır.

- Tekli kristalize silikon hücreler (Single crystalline Si):

  "Laboratuvar şartlarında verimleri %24, pazar ortamında ise %15 civarındadır"[12].

- Çoklu kristalize silikon hücreler (Multicrystalline Si):

  "Laboratuvar şartlarında verimleri %18, pazar ortamında ise %14 civarındadır"[12]. Çoklu kristalize silikon hücreler daha düşük verimlerine karşın daha ucuzdurlar.

İnce film hücreler: Bu tip hücreler, modül (plaka) boyutlarıyla sınırlanmadan geniş yüzeylerde uygulanabilir ve kavisli formlar elde edilmesinde kullanılabilir. PV hücreden elde edilen gücün, sıcaklığa bağlı değişimi kristalize silikon hücrelere göre daha azdır. Verimi güneş ışınım yoğunluğundan daha az etkilenir ve yayınık güneş ışınımı altında da verimli çalışabilir. Gölgelenme koşullarında sadece gölgelenen bölümde verimleri düşer [13].

- Galyum Arsenit (GaAs) hücreler:

  "Laboratuvar şartlarında verimleri %25 civarındadır. Daha çok uzay çalışmalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır" [12].

- Amorf Silisyum (Amorphous Si):

  "Laboratuvar şartlarında verimleri %10 pazar ortamında ise %6 civarındadır. Binayla bütünleşik yarısaydam cam yüzeylerde kullanım bulmaktadır" [12].

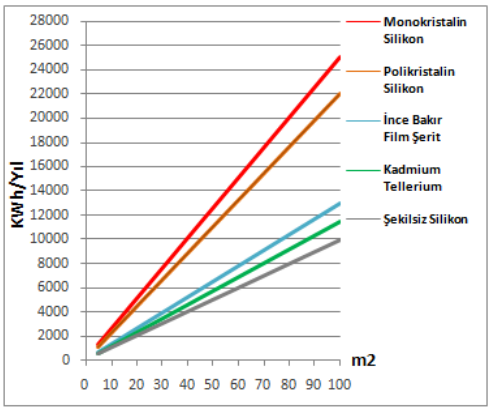
- Kadmiyum Tellürid (CdTe):

  "Laboratuvar şartlarında verimleri %16 pazar ortamında ise %7 civarındadır" [12].

- Bakır İndiyum Diselenid (CIS-CuInSe2):

  "Laboratuvar şartlarında verimleri %18 pazar ortamında ise %10 civarındadır" [12].

GEPA'da gösterilen, Türkiye'de bazı PV tiplerine göre üretilebilecek enerji değerlerinin karşılaştırılması Şekil 2 .1'de gösterilmiştir.

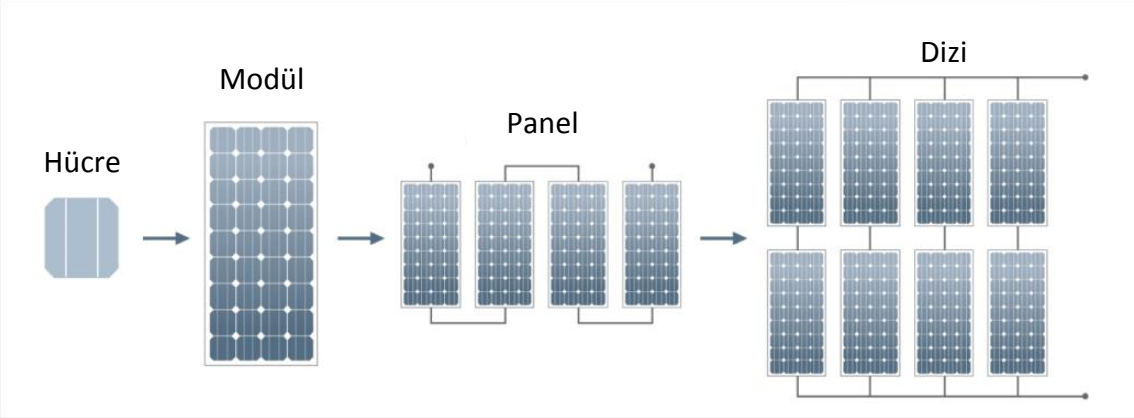


Şekil 2. 1 Türkiye'de PV tiplerine göre üretilebilecek enerji değerleri [14]

PV hücre tiplerinin erişebilecekleri maksimum güç değeri, PV hücreden elde edilebilecek güç değeri sınırını gösteren önemli bir diğer değişkendir.

2.1.2 PV Sistem Bileşenleri

Bir PV sistem tek bir PV modülden oluşturulabileceği gibi istenen güç çıkışına bağlı olarak PV modüller birbirine seri ve/veya paralel bağlanarak sırasıyla PV panel ve PV dizileri elde edilerek daha büyük PV sistemler oluşturulabilir (Şekil 2. 2).



Şekil 2. 2 PV sistem ölçekleri [15]

PV sistemler yerel şebekeyle bağlantılı çalışabilerek daha büyük bir sistemin parçası olabilirler. Elektrik şebekesi ile bağlantılı fotovoltaik sistemler gün içinde ürettiği elektriğin kullanım fazlası kısmını şebekeye satabilir. Bu durumda depolama sistemine ihtiyaç yoktur. (Üretilen DC elektrik 220 V, 50 Hz'lik AC elektriğe dönüştürülmeli ve

şebekeye uyumlu hale getirilmelidir.) Üretimin gerçekleştirilmediği akşam veya yeterli olmadığı gündüz saatlerinde ihtiyaç duyulan enerji şebekeden satın alınabilir veya jenaratör gibi diğer sistemlerden karşılanabilir.

“PV sistemler, PV modüllerin yanında denge sistemi bileşenleri ile tamamlanmaktadır. Denge sistemi bileşenleri, PV modülün uygun görülen konuma yerleştirilmesi ve PV modülde oluşan enerjinin kullanılması, depolanması veya şebekeye satılması için kullanılması gerekli tüm sistem tamamlayıcı bileşenler olarak tanımlanabilir. Her zaman hepsinin birlikte kullanılması zorunlu olmayan denge bileşenleri: taşıyıcı sistem, güç düzenleme sistemleri, depolama sistemi, bağlantı elemanları ve kablolar olarak sınıflandırılabilir” [1].

2.1.2.1 PV Modül

Bir PV sistem oluşturulması için ana bileşen PV modüldür. Güç çıkışını arttırmak için PV hücrelerinin biraraya getirilmesi ile PV modül oluşturulur. Genel olarak PV hücreler, koruyucu tabaka, yansıtmasız yüzey, modülü bir arada tutan çerçeveden ve elektrik bağlantı kutusundan oluşur. Biçimsel olarak düzlemsel, yoğunlaştırıcı veya esnek olabilirler. Düzlemsel modüller çerçeveli ya da çerçevesiz olabilir. [1]

2.1.2.2 Taşıyıcı Sistem

Taşıyıcı sistem, PV modüllerin istenen konum ve açıda durmasını sağlayan konstrüksiyondur.

2.1.2.3 Güç Düzenleme Sistemleri

“Güç düzenleme sistemleri, PV sistemlerde üretilen enerjinin, kullanılacağı, depolanacağı veya iletileceği yer ile şebeke arasında teknik enerji değerlerinin uyumunu gerçekleştiren, güvenli bir şekilde ve ihtiyaç duyulan enerji miktarına bağlı olarak gerekli denetim ve ilişkileri sağlayan sistemlerdir” [1]. Güç düzenleme sistemleri şu şekilde tanımlanabilir:

- Voltaj akım düzenleyicileri,

- PV modüllerden gelen akımı düzenleyerek aküye iletilmesini sağlayan ve akünün tam dolmasını ve aşırı kullanımlarda deşarj olmasını engellemek için kullanılan (akü şarj regülatörü) şarj denetleme aygıtları,
- PV modülde DC akım (doğru akım) olarak üretilen elektrik enerjisinin genelde kullanıma uygun biçim olan AC akıma (alternatif akım) çevrilmesini sağlayan çeviriciler (inverter),
- Binada ihtiyaç duyulan enerji miktarının PV sistemden karşılanma oranını takip eden ve yetersiz olduğunda diğer sistemleri (yedek sistemler veya şebeke bağlantısı) devreye almak için kullanılan denetleme birimleri ve ölçüm birimleri,
- Sistemde oluşabilecek sorunları belirlemek ve cihaz ile personel güvenliğinin sağlanması için kullanılan güvenlik birimleridir.

2.1.2.4 Depolama Sistemi

Depolama sistemi kapsamında aküler kullanılmaktadır. Aküler şebeke bağlantısının olmadığı durumlarda gündüz üretilen kullanım fazlası elektrik enerjisini depolayarak üretimin gerçekleşmediği akşam saatlerinde de kullanılabilmesini sağlayan elemanlardır.

2.1.2.5 Kablolar ve Bağlantı Elemanları

“Kablolar ve bağlantı elemanları, sistem maliyetinde küçük bir oranı oluşturmanın yanında tüm sistem güvenliğini ilgilendiren önemli bileşenlerdir” [1].

2.1.3 PV Sistem Performansını Etkileyen Değişkenler

Fotovoltaik sistemlerin maliyetlerine karşın düşük düzeyde olan verimlerinin olabildiğince yüksek olmasını sağlamak için fotovoltaik sistemlerin verimlerini etkileyen değişkenlerin neler olduğu bilinmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Bu konuda dikkat edilmesi gereken önemli nokta iki türlü verimden bahsedilebilmesidir. İlk ele alınan verim, genelde laboratuvar gibi denetimli ortamlarda, sabit ve elverişli değişkenler altında hesaplanan verim değeridir. İkinci

olarak ele alınan verim, pazar ortamında elde edilen ve genelde ilk türe göre daha düşük sonuçlar veren, değişkenlerin doğal olarak belirlendiği verimdir.

Bir PV sistemin performansını etkileyen değişkenler beş grupta sınıflandırılabilir.

2.1.3.1 Yapısal Değişkenler

- Yarı iletken malzemenin özelliklerine bağlı değişkenler: Bir PV sistemin temel çalışma ortamını oluşturan yarı iletken malzeme tiplerine bağlı olarak verimde önemli farklılıklar olur.
- Hücre sisteminin oluşturulma teknolojisine bağlı değişkenler: Hücre sistemini oluşturan farklı bileşenlerin malzeme özellikleri, hücreyi oluşturan malzemelerin birleştirilme teknolojisi ve tasarımına bağlı olarak hücre sistemi içinde gerçekleşen fiziksel olayların etkileri verimi etkileyen değişkenlerdir.
- Hücre rengi ve hücre katmanlarının özelliklerine bağlı değişkenler: Renge ve katman özelliklerine bağlı olarak güneş ışınımlarına karşı oluşan seçicilik sonucu güneş ışınımlarının yansıtılma yüzdesi gelen güneş ışınımının elektrik enerjisine dönüştürülen oranını etkileyerek, güneş ışınımlarının yutulma yüzdesi ise hücrenin ısınmasını etkileyerek verimi etkiler.
- Modülü oluşturan katmanların özelliklerine bağlı değişkenler: Modül sisteminin koruyucu tabakasının güneş ışınımlarını yansıtma yüzdesi (katsayı), modülü oluşturan hücrelerin bağlantı özellikleri verimi etkileyen değişkenlerdir.

2.1.3.2 Konumsal Değişkenler

Bu sınıflamada ele alınan konum değişkenleri, aynı zamanda PV sistemin uygulanacağı bina konumuna bağlıdır. Binanın formu, yönlenişi, yüzeylerinin yaptıkları açılar binayla bütünleşik çalışacak PV sistemlerin konumlarını belirlemede ana etkenlerdir.

- Modüllerin yatay düzlem (yer düzlemi) üzerinde yaptığı açı (güney açısı): Bir PV modülün yerdeki izdüşümünün güneyle yaptığı açı olarak tanımlanabilir. Kuzey yarımkürede güneşin hareketi izlendiğinde, yılın belli dönemlerinde değişkenlik göstermekle beraber genelde yaklaşık olarak doğudan doğar, gün boyunca

güneyden dolaşır ve yaklaşık olarak batıdan batar. Bu durumda güney yönü kuzeye göre güneş ışınımları açısından daha zengindir ve verim açısından PV sistemlerin mümkün olduğunca güneye yönelmesi beklenir. Bazı deneysel çalışmalarda güneyden doğuya yada batıya doğru düşük açılarda sapmanın da optimum yön olduğu ortaya konulmuştur [16].

- Modüllerin yer düzlemiyle yaptığı açı: PV modülün konumlanacağı yerin enlemine bağlı olarak güneş ışınları yer düzlemine belli bir açı yaparak gelir. Güneş ışınımlarının PV modüle dik olarak geldiği durumda güneş ışınımlarından en yüksek düzeyde yararlanılabilir. Bulunulan yere bağlı olarak PV modülün yer düzlemiyle yaptığı açı önem kazanır. Literatürde bu açıya, optimum PV açısı ve PV eğim açısı da denilmektedir.

Optimum PV açısının (PV modülün yer düzlemiyle yaptığı açı) belirlenmesi, bulunulan konumla özdeşleşen önemli bir değişkendir. PV sistemlerin yakıtı güneş ışınımlarıdır. Güneş ışınımlarının PV modül tarafından en üst düzeyde kullanılabilmesi, güneş ışınımları ile PV modül bibirine dik konumda olduğu zaman gerçekleşir. Burada bahsedilen güneş ışınımı, doğrultulu güneş ışınımlarıdır. Bunun sebebi, doğrultulu gelen ışınımların hem ışınım değeri açısından toplam gelen güneş ışınım miktarının büyük bir bölümünü içermesi hem de karar verilen karakteristik tarih ve saate göre geliş açısının saptanabilmesi ve buna göre PV eğim açısının saptanabilmesidir. Yayınık olarak gelen güneş ışınımları da PV güç çıktısına katkı sağlayacaktır.

Optimum PV açısının belirlenmesi konusunda birçok yaklaşım vardır. Güneş toplaçları üst başlığında su ısıtma sistemlerini de içine alan bir yaklaşıma göre enlem esaslı bir yöntem önerilmektedir. Bu yaklaşımda PV modülün yatay düzlemle yaptığı açı, yazın yararlanılmak istenirse bulunulan enlem derecesinin sayısal değerinden on çıkarılır, kışın kullanılmak istenirse enlem derecesinin sayısal değerine on eklenir, tüm yıl yararlanılmak istenirse enlem derecesinin sayısal değeri kadar olur [17]. Burada esas olan güneş ışınımlarından en üst düzeyde yararlanmaktır. Bu yöntem su ısıtma sistemleri için verimli olurken PV sistemlerde yetersiz olabilmektedir.

Farklı çalışmalarda enlemle ilişkilendirilen optimum açı sonuçları;

- Yaz dönemi yararlanmak için/ tüm yıl yararlanmak için [18] enlem-20° kadar eğim verilmelidir,
- Eğim açısı enlem açısı ile enlem-15° açı değeri aralığında olduğunda, iki sınır durum arasında enerji kazancında yaklaşık %5'den küçük fark olur [19],
- Sadece yayınık ışıktan faydalanılmak istenirse eğim açısı 0°, eğer doğrultulu ışınımlardan yararlanılmak isteniyorsa eğim enlem kadar olmalıdır. Bu sebeple bütün yıl yararlanılmak istenilen sistemlerde optimum eğim açısı 0° ile enlem değeri aralığında olmalıdır [20],
- Yıl boyunca yararlanmak için enlem-10° [15], yaz için enlem-10° [15], kış için enlem+10° olmalıdır, [21]
- Nominal eğim açısı 21 mart ve 23 eylül gün ortası saatlerinde güneş ışınımlarının PV modüle dik geldiği açıdır ve yıl boyunca yararlanmak için PV sistemin eğim açısı olarak kullanılabilir,
- Yıl boyunca yararlanmak için enlem-deklinasyon (δ) açısı değeri kadar eğim verilir [22],
- Enlem * 0,9 kadar eğim uygulanır [16],[23],
- Yaz ve kış dönemleri için enlem±8°, yaz ve kış dönemleri için enlem±15°, yazın enlem kadar kışın enlem+30° kadar olmalıdır, [24], [25], [16]
- Tüm yıl yararlanmak için enlem kadar olmalıdır [4],

şeklinde yaklaşımlardır. Enleme bağlı yaklaşımlar güneş ışınımına bağlı yaklaşımlardır.

Güneş ışınımlarından yararlanma açısından verimli olan enleme bağlı yaklaşımlar, PV sistem çalışma özellikleri açısından eksik olmaktadır, çünkü PV sistemlerde PV modül üzerine düşen ışınım miktarı arttıkça çıktı olan güç de artacak anlamına gelmemektedir. Sıcaklık artışı bir noktadan sonra ışınım miktarının getirdiği verimin önüne ters verim olarak geçmeye başlamaktadır. PV sistemlerde çıktı olarak elde edilen güç, ışınım değeri ile doğru orantılı artmamaktadır. Bunun sebebi akım-gerilim (I-V) karakteristiği ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri ile ilgilidir [26], [27], [28]. Işınım miktarı ile bir yandan akım artarken yüksek düzeydeki ışınım değerleri ile ısınan PV modülde gerilim

değerleri düşmeye başlamaktadır. Bu durumda, gerilimin düşmesi çıktı olan güç değerlerini düşürmektedir. Gerilim değerlerinin düşmesine sebep olan sıcaklık faktörü, PV verimini negatif etkilemektedir. Bu durumda ışınım değerlerine bağlı olarak geliştirilen optimum PV açısı belirleme yöntemleri eksik kalmakta hatta yanlış olabilmektedir. Işınımla birlikte önemli olan sıcaklık faktörü ve sıcaklık değerlerini düşürmesinden dolayı dolaylı olarak hava devinim değerleri (rüzgar hızı) optimum PV verimini sağlayan açıyı bulmadaki temel değişkenler olmaktadır. PV sistemin kurulacağı yerin enlemi dünya üzerinde hangi ışınım değerleri aralığında olduğunu vermesinden dolayı önemlidir fakat bulunulan yerin iklimsel verileri (sıcaklık, hava devinimi) ile aynı enlem değerlerinde farklı sonuçlar elde edilebilir [20]. **Bu durumda optimum PV açısının belirlenmesiyle ilgili evrensel genellemelerin yapılması zorlaşmaktadır. PV sistemin kurulacağı yere özgü deneyler veya simülasyonlar yapılarak bu açının bulunması doğru olacaktır.** Sıcaklık pil kayıplarını arttırmaktadır. Sıcaklık arttıkça PN birleşim bölgesinde kayıplar artmaktadır ve bu kayıplar PV hücrede ısıya dönüştürülerek harcanmaktadır. Isınma problemine karşı, olabildiğince yüksek düzeyde güneş ışınımı alınabilmesi arasında optimum denge sağlanmalıdır. Optimum PV açısının belirlenmesiyle ilgili yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların ortak yönü, sadece çalışılan yere ait eğim değerlerinin saptanmaya çalışılmasıdır [29]. Bunu gerçekleştirebilmek için çalışmaların bir kısmı farklı simülasyon programları kullanırken [23], bir kısmı özel formüller ve algoritmalar kullanmış [30], [25], [31], [32] bir kısmıda yerinde deney grubu oluşturarak belli bir zaman diliminde gözlem ve ölçüm yaparak [33] sonuçlara ulaşmışlardır.

Bahsedilen değişkenlerin yanında, kullanılan PV hücre tip ve teknolojilerine göre sonuçlar değişebilir.

Türkiye şartlarında yapılan çalışmalara bakıldığında;

- Türkiye'de (Şanlıurfa) optimum eğim açısı yazdan kışa doğru 13° ile 61° arasında değişebilmektedir [25],
- Avrupa Birliği güneş enerjisi elektrik çalışması (SOLAREC) araştırma merkezi verilerine göre yıllık eğim açıları Türkiye'nin illeri için 29°-33° arasındadır [34],
- İstanbul'da monokristal teknolojisi için 26° ile 29° aralığı önerilmiştir,

- PV sistemler ile ilgili bir simülasyon programı aracılığıyla İstanbul'da optimum eğim açısı 31°, Antalya'da ise 32° öngörülmüştür [2],
- Bir PV simülasyon programın aracılığıyla İstanbul için 28° önerilmiştir [3],
- 36° ile 40° enlemleri arasında bulunan örnek yerlerde 33° ile 29° arasında değişen optimum eğim açıları elde edilmiştir [6],
- tüm yıl için optimum eğim açısı Gebze için 33° İzmir için 30,3° bulunmuştur [24],

gibi farklı sonuçlar farklı yöntemlerle ortaya konmuştur.

Bir çalışmada enlemi kuzey 47,4° olan Zürih şehrinde en iyi eğim açısı 30°, enlemi kuzey 35,3° olan Tokyo şehrinde en iyi eğim açısı 26°, enlemi kuzey 33,5° olan Los Angeles şehrinde en iyi eğim açısı 28° ve enlemi güney 33,5° olan Sidney şehrinde en iyi eğim açısı 30° olarak belirlenmiştir. Son örnekte verilen şehirlerin konumlarına bakıldığında 47,4° ile 33,5° enlemleri arasında 30°'ye yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Türkiye'nin bulunduğu enlem aralığı 36° ile 42° kuzey enlemlerindedir).

"Türkiye'de PV modüllerin yaz ve kış ortalamasına göre optimum eğim açısı 30° kabul edilebilir. Türkiye şartlarında 10° ile 30° arasındaki yıllık performans farkı %15'i geçmeyecektir." Buradaki çalışmada Türkiye açısından bir genelleme yapılmıştır. [3], [7], [35]

Sonuç olarak, dünyadaki ve Türkiye'deki çalışmalara bakıldığında, Türkiye'de tüm yıl için optimum eğim açısı olarak 30° ile çalışılmasına, birçok kaynak tarafından desteklenebilir olması ve Türkiye genellemesinin çalışmalarda pratiklik sağlayacağı sebebiyle, bu tez çalışması kapsamında karar verilmiştir.

2.1.3.3 İklime ve Gölgelenmeye Bağlı Değişkenler

Bu kategori iklime bağlı değişkenler ve gölgelenmeye neden olan değişkenler olarak iki ana gruba ayrılmıştır.

- İklime (ve coğrafi koordinatlara) bağlı değişkenler: PV sistemin bütünleşik olduğu binanın konumuna bağlı olan değişkenlerdir.

Güneş ışınım değeri, PV sistemde elektrik enerjisinin üretilmesinde hammadde olarak en önemli değişkenlerden biridir. Bulunulan yerin enlemi ile gün içinde ve yıl içinde güneşin geliş açısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Atmosferik koşullar da PV sisteme ulaşan güneş ışınımlarının nicelik ve niteliğini etkiler.

Hava sıcaklığı, PV sistemin ısınmasına sebep olduğu zaman verimin düşmesine sebep olur.

Hava devinimi (rüzgar), PV sistemde biriken ısının PV sistemden uzaklaşmasına etki ederek verimi arttırmaya neden olabilir.

Havanın nemi, PV sistem bileşenlerinin bünyesine girerek arızalanmalara, yıpranmalara sebep olarak verimi düşürücü etkide bulunabilir.

- Gölgelenmeye neden olan değişkenler: PV modüllerin gölgede kalması hem gölgelenen PV modül hem de PV sistem açısından verimi aşağılara çeken bir durumdur. Modül tamamen gölgede kalırsa verim yaklaşık %60-%80 düşmekte, bir bölümü gölge altında kalırsa yaklaşık %30-%40 düşmektedir [3]. Gölgelenmeye neden olan değişkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

  Yapılı çevre, binanın çevresindeki diğer yapıların yüksekliklerine, boyutlarına, konumlarına, binaya yakınlıklarına bağlı olarak gölge atabilir.

  Doğal çevre, ağaç gibi bitki örtüsüne, tepe gibi topografik oluşumlara bağlı olarak gölge atabilir.

  Binanın çıkıntıları, binanın parçası olan bacalar, şaft kuleleri, balkonlar binanın üzerindeki PV modüllere gölge atabilir.

  PV modüller, PV sistem tasarımına bağlı olarak birbirine gölge atabilir. Bu durum tasarım aşamasında sınır durumlar hesaplanarak önlenmelidir.

  Geçici gölgelenmeye sebep olan etmenler, yağış tipine bağlı olarak kar veya mevsimsel bir durum olan dökülmüş yapraklar gibi temizlik yapılmasını gerektiren durumlar, PV modülllerin gölgelenmesine sebep olabilir.

2.1.3.4 Uygulamaya Bağlı Değişkenler

PV sistemi oluşturan tüm elemanların verimlilikleri, sisteme uyumlulukları, biraraya getirilme biçimleri PV sistemin verimini etkiler.

- PV modüllerin bağlanma biçimlerine bağlı değişkenler: PV modüllerin bağlantı biçimlerinden seri veya paralel bağlı olması sonucu modüllerden birinde yaşanan bir sorunun tüm sistemi etkileme durumu farklılık gösterir. Seri bağlı bir sistemde modüllerden birinin gölgede kalması tüm sistem gölgede kalmış gibi etki eder.
- PV sistem bileşenlerinin seçimine bağlı değişkenler: PV sistemi oluşturan (inverter) dönüştürücü, akü gibi tamamlayıcı elemanların sistemle uyumlulukları ve kendi içlerindeki verimleri sistem verimini etkiler.

2.1.3.5 Bakım Onarım ve Temizliğe Bağlı Değişkenler

Bu kategori, temizlik, bakım ile onarım ve ömür olarak üç gruba ayrılır.

- PV sistem ömrüne bağlı değişkenler: PV sistemi oluşturan her elemanın bir pazar ömrü vardır. Ömrünü tamamlayan elemanlar değiştirilmelidir. PV sistem içerisinde en uzun ömürlü elemanlardan PV modülün ömrü yaklaşık 25 yıl garanti edilmektedir. Fotovoltaik modüllerin performansı uzun vadede ilk kullanıma başlandığı andan itibaren düşüş gösterir.
- PV sistemin bakım ve onarımına bağlı değişkenler: PV sistem elemanları zaman içinde arızalanabilir veya zarar görebilirler. Verimi düşüren, sistem çalışmasını engelleyen bu tür durumlarda gerekli onarım işlemleri yapılmalıdır. Rutin olarak PV sistem elemanlarının bakımlarını yapmak verimi kontrol altında tutmayı sağlar.
- PV sistemin temizliğine ilişkin değişkenler: PV sistem içerisinde bilhassa PV modüllerin kirlenmesine, koruyucu tabakanın opaklaşmasına bağlı olarak güneş ışınımlarından yararlanabilme oranı düşer. Tozlanma, kirlenme, yaprak birikmesi gibi etmenler verimde düşmeye sebep olur. PV modüllerin rutin temizliklerinin yapılması sistem veriminde önemli yer tutar.

Çizelge 2. 1'de bir PV sistem tasarımı sırasında PV sistemin temel bileşeni olan hücre tipi seçiminden PV sistemin oluşturulması ve PV sistemin çalışma performansını etkileyen değişkenlere kadar ele alınacak konular listelenmiştir.

Çizelge 2. 1 PV sistemler

PV Hücre Tipi	
Kristalize silikon hücre	tekli kristalize silikon hücre, çoklu kristalize silikon hücre
İnce film hücre	GaAs hücre, Amorphous Si hücre, CdTe hücre, CIS-CulnSe2 hücre
PV Sistem Bileşenleri	
PV modül-ler	modül, panel, dizi
Taşıyıcı sistem	
Güç düzenleme sistemleri	voltaj akım düzenleyicileri, şarj denetleme aygıtları, çevirici, denetleme ve ölçüm birimleri, güvenlik birimleri
Depolama sistemi	
Kablolar ve bağlantı elemanları	
PV Sistem Performansını Etkileyen Değişkenler	
Yapısal değişkenler	yarı iletken malzeme, hücre sisteminin oluşturulma teknolojisi, hücre rengi ve hücre katmanları, modülü oluşturan katmanlar
Konumsal değişkenler	güney açısı, eğim açısı
İklime ve gölgelenmeye bağlı değişkenler	güneş ışınım değeri, hava sıcaklığı, rüzgar, nem; yapılı çevre, doğal çevre, binanın çıkıntıları, PV modüller, geçici etmenler
Uygulamaya bağlı değişkenler	bağlanma biçimi, PV sistem bileşenlerinin seçimi
Bakım onarım ve temizliğe bağlı değişkenler	ömür, bakım ve onarım, temizlik

2.2 Gölgeleme Elemanları

Bina kabuğunun bir parçası olarak gölgeleme elemanları, bina cephesindeki saydam alanlara gelen güneş ışınımlarını denetim altına alarak güneşten korunmayı sağlar. Gölgeleme elemanları bina kabuğundaki pasif sistem elemanlarıdır. Gölgeleme elemanları diğer bir deyişle güneşkıranlardır. Bir gölgeleme elemanı tasarımı yapabilmek için çalışma ilkesini anlamak gerekir. Bir gölgeleme elemanı çalışma ilkesi dünya ve güneş ışınımları ilişkisi içinde anlaşılabilir.

Dünyaya ulaşan güneş ışınımları çeşitli fiziksel olaylara maruz kalır. Güneş ışınımlarının bir kısmı atmosferde dağılarak gök ışığını oluşturur. Gök ışığı doğrultusuzdur ve yayınık olarak gelir. Gündüz saatlerinde doğrultulu güneş ışınımlarının olmadığı durumlarda gök ışığı vardır. Güneş ışınımlarının diğer ve yüksek ışınım değerine sahip bölümü doğrultulu güneş ışınımlarıdır. Doğrultulu güneş ışınımlarının geliş açısı belirlenebilmektedir bu sebeple gölgeleme elemanı tasarımında temel değişkeni oluşturur.

Fotovoltaik sistemin kullandığı enerjinin hammaddesi olan güneş ışınımlarının doğrultusu ve yeğinliği, dünyada bulunulan yere, yılın günlerine, günün saatlerine ve atmosfer koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir.

Uygun atmosfer koşulları altında, yıl içinde kışdan yaza doğru ve gün içinde sabah ve akşamüstünden öğleye doğru yatay düzlemdeki enerji miktarı artar.

2.2.1 Gölgeleme Elemanı Tipleri ve Çalışma İlkesi

Bina kabuğunun bir parçası olarak tasarlanan gölgeleme elemanları temelde üç tiptir. Bunlar, yatay gölgeleme elemanları, düşey gölgeleme elemanları ve bu iki tipin birleştiği kafes tipi gölgeleme elemanlarıdır. Görsel açıdan farklı çeşitler gibi görünen farklı amaçlarla tasarlanmış gölgeleme elemanları vardır.

Parça adedine bağlı olarak, uzun ve tek parça kullanılabileceği gibi daha kısa ve çok parçalı yatay ve düşey gölgeleme elemanları kullanılabilir. Hareket kabiliyetlerine bağlı olarak, sabit veya hareketli sistemler tasarlanabilir. Hareketli sistemler el ile ayarlanabilen ve zaman ayarlı sistemler olabileceği gibi Güneş'in konumuna göre otomatik hareket eden sensörlü sistemler de olabilir. Yüzey özelliklerine bağlı olarak,

yüzeyleri düzlemsel veya eğrisel (içbükey veya dışbükey) gölgeleme elemanları tasarlanabilir. Yüzeyleri farklı opaklık oranlarında olabilir. Gölgeleme elemanları pencere boşluğu içinde yer aldıkları konuma bağlı olarak, pencerenin dış tarafında, iç tarafında veya pencere yüzeylerinin (camlarının) arasında olabilir. Bunların dışında özel olarak tasarlanmış sistemlerden de bahsedilebilir.

Bu çalışma kapsamında istenmeyen ısı kazançlarını önlemek için pencerenin dış tarafında yer alan gölgeleme elemanları kullanılmıştır.

Bir gölgeleme elemanının çalışma ilkesi, bina kabuğunun saydam alanına gelen güneş ışınımının doğrultusuna dik konumda engel oluşturarak bina içine güneşin girmesini engellemektir. Engel olarak gölgeleme elemanı ve korunulacak olarak da güneş ışınımı ele alındığında güneş ışınımının hangi doğrultudan geldiğinin saptanması gereklidir. Burada bahsedilen güneş ışınımı, doğrultulu olan ışınımlardır. Güneş ışınımlarının doğrultusu gün boyunca ve yıl boyunca değiştiğinden korunma istenilen döneme karar verilip, belli bir dönemde korunmayı sağlayan gölgeleme elemanı tasarlanır. Korunma istenen dönem için karakteristik gün ve saat seçilerek, tüm dönemde korunmayı sağlayacak sınır durum açısından boyut ve açıya karar verilir.

Güneşin sarmal yörüngedeki hareketi izlendiğinde sabah güneş doğarken ve akşam güneş batarken güneş ışınımları o gün içinde yataya en yakın açıyla gelir ve doğu ile batı cephelerinde etkili olur. Gün boyunca dolaştığı güney cephesinde ise güneş ışınımları tam güney konumundayken o gün içinde dike en yakın açıyla gelir ve güney cephesinde etkilidir. Bu sebeple doğu ve batı cephelerinde dikey gölgeleme elemanı daha etkili olurken güney cephesinde ise yatay gölgeleme elemanı daha etkili olur. Güneş ışınımları dike yakın geldiğinde yatay bir elemanla, yataya yakın geldiğinde ise dikey bir elemanla korunmuş olunur.

Bir gölgeleme elemanının asıl işlevi olan, doğrultulu güneş ışınımlarını engellemek olmanın yanında konforlu bir bina için sağlaması beklenebilecek başka işlevleride vardır. Bu işlevler, günışığından yararlanma, kamaşmayı önleme, sıcak dönemde soğutma yüklerini düşürmesi, soğuk dönemde ısıtma yüklerini arttırmaması, doğal havalandırmayı engellememesi, manzara varsa bunu kesmemesi ve dışarıyla görsel

bağlantıyı fazla engellememesi gibi beklentilerdir. Bu işlevlerin büyük bölümü birbiriyle doğru orantılı çalışmaktayken bir bölümü çalışma ilkesine ters düşmektedir.

Günışığından yararlanma, doğrultulu güneş ışınımlarının haricinde yayınık gök ışığının bina içine ulaşmasına engel olmadan içeride sağlanması gereken aydınlık düzeyine katkı yapmasını sağlamaktır. Gölgeleme elemanları doğrultulu güneş ışınlarını engellerken yüzey özelliklerine bağlı olarak bu ışınımları dağıtarak yayınık gök ışınımlarıyla birlikte içeri alabilir. Bu işlev gölgeleme elemanı çalışma ilkesiyle ters düşebilecek bir işlevdir.

Kamaşma, iç mekanda yüksek ışık kontrastlarının oluşması ve görsel konforun bozulmasıdır. Doğrultulu güneş ışınımları kamaşmaya neden olabilir. Güneş ışınımlarının geliş doğrultularının hesaba katıldığı bir gölgeleme elemanı kamaşmayı da önler.

Sıcak dönemde kullanılan gölgeleme elemanları güneş ışınımlarını kesmenin yanında dolaylı olarak güneş ışınımlarının ısıtıcı etkisini de kesmiş olacaktır. Bu sayede soğutma yüklerini düşürür.

Isıtmanın istendiği dönemde ise gölgeleme elemanının tasarımında dikkat edilmesi gereken husus ısıtma yüklerinin artışına sebep olmamaktır. Burada denge gözetilmelidir. Bu işlev gölgeleme elemanı çalışma ilkesiyle ters düşebilecek bir işlevdir.

Binalarda önemli bir husus olan havalandırmanın doğal biçimde yapıldığı pencerelerin bu işlevi, gölgeleme elemanları tarafından azaltılabilir veya tamamen kesilebilir. Doğal havalandırmanın önemli olduğu durumlarda bu olasılığa dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu işlev gölgeleme elemanı çalışma ilkesiyle ters düşebileceği gibi, gölgeleme elemanı bu işleve katkı da sağlayabilir.

Gölgeleme elemanlarıyla birlikte güneş ışınımlarından tamamıyla korunulabilir fakat bu durumda dışarıyla görsel bağlantı ve varsa manzaradan yararlanma yüzdesi düşecektir. Manzaranın önemli olduğu ve dışarıyla bağlantının psikolojik etkisinin önemsendiği durumlarda bu durumun denetimi yapılmalıdır. Bu işlev gölgeleme elemanı çalışma ilkesiyle ters düşebilecek bir işlevdir.

2.2.2 Güney Cephesi ve Pasif Sistem Elemanı Olarak Yatay Gölgeleme Elemanı

Güney cephesi kuzey yarımkürede binaların en uzun süre güneş alan cepheleridir. Güneşin sarmal yörüngesi izlendiğinde Güneş gün boyunca güney cephesini dolanarak hareketini gerçekleştirmektedir. Bu sebeple güneş enerjisi en fazla güney cephesine ulaşmış olur. Pasif bina tasarımı açısından, bu güneş enerjisinden bina kabuğunda pasif sistem elemanları ile yararlanılmalıdır. Gerektiğinde ise bu enerjiden korunulmalıdır. Güneş ışınımları güney cephesinde yer düzlemine göre dike yakın doğrultuda geldikleri için bu doğrultudan gelen güneş ışınımlarına oluşturulacak dik engel yatay tip gölgeleme elemanlarıdır.

Güney cephesi ve güneş enerjisi potansiyeli pasif bina tasarım ilkeleri açısından çok uygun bir cephedir. Isıtmanın istenmediği yaz aylarında, güney cephesindeki saydam alanlar üzerinde oluşturulan bir saçak (yatay gölgeleme elemanı), binayı dike yakın gelen güneş ışınımlarının ısıtıcı etkilerinden korur. Kışın ısıtmanın istendiği dönemde ise yataya yakın açıyla gelen güneş ışınımları saçağa takılmadan binanın içine ulaşabilir. Binada hiçbir aktif sistem elemanı kullanılmadan sadece bina kabuğundaki pasif denetim elemanı ile enerji kazancı sağlanmış olur.

Sokrates'in Megaron Ev'i tasarımı da pasif bina ilkelerine uygundur. Sokrates'in önerdiği planda, bina geniş bir cepheyle güneye açılır ve daralan bir planla kuzey cephesini azaltır. Bina kesitinde, güney cephesinde çatı uzatılarak saçak oluşturulmuştur ve kuzey cephesine doğru eğimle alçalarak devam eder. Bu durumda yazın güneşten korunma kışın güneşten yararlanma sağlanmış olur.

2.2.3 Düşey Gölgeleme Elemanları

Düşey gölgeleme elemanları genellikle binaların doğu ve batı cephelerinde kullanılan gölgeleme elemanı tipidir. Güneş sabah doğarken ve akşam batarken gün içindeki en alçak konumunda olur. Güneş ışınımlarının sanki binanın karşısından geliyormuş gibi bir etkisi vardır. Bu doğrultudan gelen güneş ışınımlarına oluşturulacak dik engel düşey tip gölgeleme elemanlarıdır. Güneşin alçak konumunda cephenin sağında mı solunda mı olduğuna göre de düşey gölgeleme elemanının açı yapması gerekir.

Güneş doğu ve batı cephelerinin bir yanından diğer yanına hareket ettiğinden sabit bir düşey gölgeleme elemanı tam verimli olamayabilir. Bu durumda, ilgili cephede gölgeleme elemanı etüdleri yapılarak istenen saatler için uygun bir gölgeleme elemanı tasarlanabilir.

2.2.4 Görsel Verim Açısından Gölgeleme Elemanı Tasarımında Bir Yaklaşım

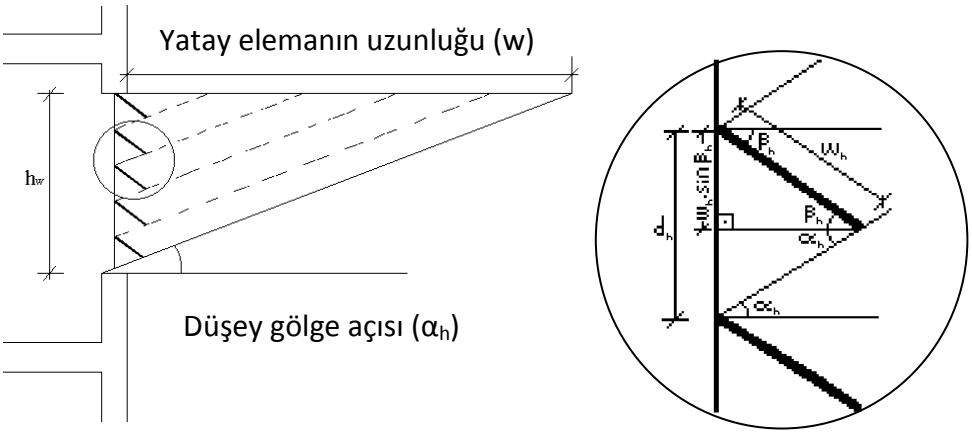
G. Zorer Gedik tarafından oluşturulan bir çalışmada [8], yönlere göre tasarlanan gölgeleme elemanlarının görsel verim açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Görsel veriminin tanımı, pencerenin gölgeleme elemanı ile izdüşümsel olarak kapatılmayan alanının pencere alanının tamamına oranı şeklinde yapılabilir. Bu çalışmada, bir ofis binasının çalışma saatleri ve güneşten korunma dönemleri esas alınarak, yönlere göre optimum gölgeleme elemanı tasarımı yapılmış ve alt sınır olarak belirlenen görsel verim oranıyla ilişkisi değerlendirilmiştir.

Çalışmada, bir yatay gölgeleme elemanının görsel verimi E_h , gölgelediği pencerenin yüksekliği h_w, düşey gölge açısı α_h, yatay gölgeleme elemanının genişliği w, eğimli bir yatay gölgeleme elemanının yer düzlemi ile yaptığı açı β_h ile gösterilmiştir. α_h ve β_h değerlerinin kullanıldığı bir formül ile yatay gölgeleme elemanının görsel verimi hesaplanabilmektedir. α_h, karakteristik olarak belirlenen gün ve saatteki güneş ışınımının doğrultusuna bağlı değişkendir.

Yatay gölgeleme elemanlarının görsel verim hesapları, pencerenin açıkta kalan bölümünün yüzdesi olarak, verilen formüle (2.1) göre hesaplanabilir [8].

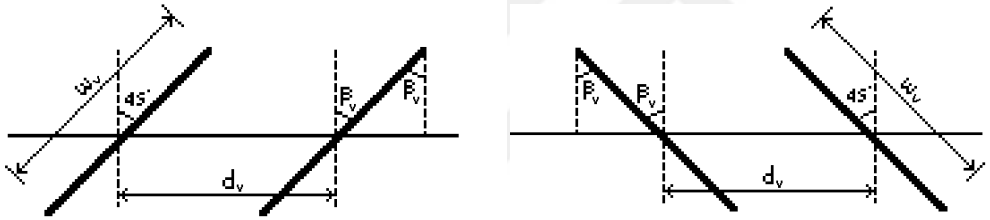
$$E_{\mathrm{h}} = \frac{\cos\beta_{\mathrm{h}}.\tan\alpha_{\mathrm{h}}}{cos\,\beta_{\mathrm{h}}.tan\,\alpha_{\mathrm{h}}+\sin\beta_{\mathrm{h}}}100\% \qquad (2.1)$$

Eğimli veya eğimsiz, çok parçalı veya tek parça yatay gölgeleme elemanları için kullanılabilecek formülde belirtilen değişkenler Şekil 2. 3 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2. 3 Yatay gölgeleme elemanında görsel verim değişkenleri [8]

Çalışmada, bir düşey gölgeleme elemanının görsel verimi E_v, düşey gölgeleme elemanlarının genişliği w_v, düşey gölgeleme elemanlarının merkezlerinden birbirine olan uzaklıkları d_v, pencere düzleminin normali ile düşey gölgeleme elemanının arasında kalan açı ise β_v ile gösterilmiştir.



Şekil 2. 4 Düşey gölgeleme elemanında görsel verim değişkenleri [8]

Düşey gölgeleme elemanlarının görsel verim hesapları, pencerenin açıkta kalan bölümünün yüzdesi olarak, pencere düzleminde elemanların dik izdüşümü (w_v.sin β_v) ve d_v yoluyla verilen formüle (2.2) göre hesaplanabilir [8].

$$E_v = 1 - \frac{w_v}{d_v} \cdot \sin \beta_v \cdot 100\% \qquad (2.2)$$

2.2.5 Gölge Eğrileri Yöntemi

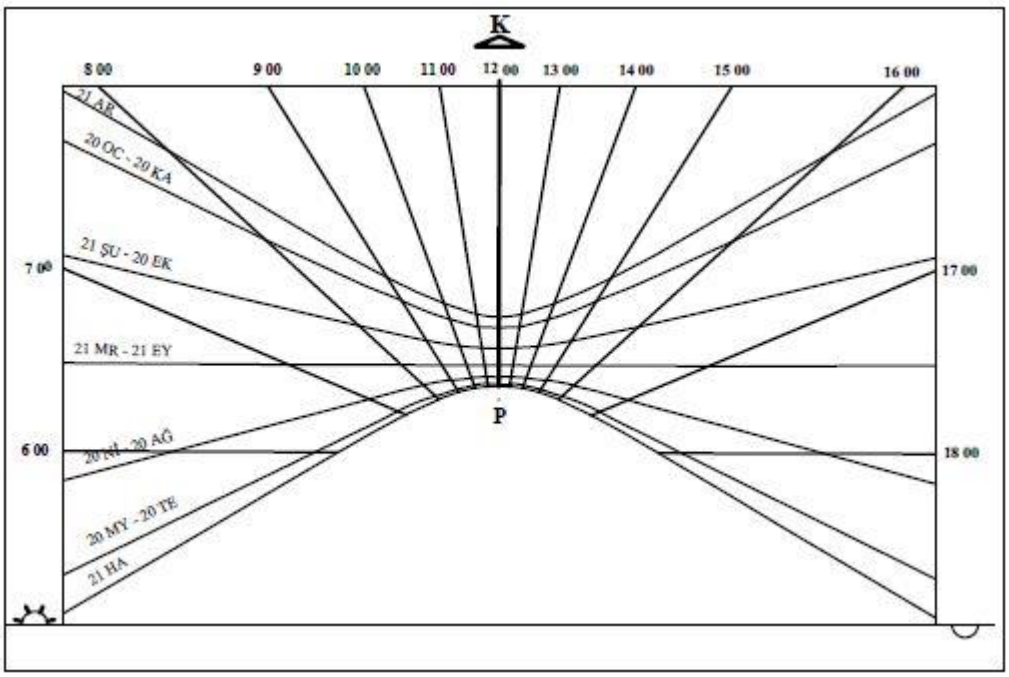
Gölge eğrileri yöntemi, bina kabuğundaki bir gölgeleme elemanının istenen tarih aralığında güneşten korunma sağlayacak şekilde tasarlanabilmesi için bir yöntem olarak bu çalışma kapsamında tercih edilmiştir.

"Yatay bir düzlem üzerinde duran düşey bir çubuğun gün boyunca, güneşin doğuşundan batışına kadar olan süreçte attığı gölgelerin uç noktalarının geometrik yeri

o güne ve yere ait gölge eğrisini oluşturur. Ertesi gün güneşin yörüngesi değiştiği için gölgelerin oluşturduğu bu eğri de değişecek, başka bir eğri olacaktır" [36].

"Güneşin sarmal yörüngesi üzerinde yıllık hareketine göre oluşan gölge eğrileri üzerindeki her nokta belli bir konum ve zamandaki güneş ışınlarının doğrultusunu vermektedir" [36]. Güneş ışınlarının bu doğrultusu bulunulan konumun enlemine, yılın gününe ve günün saatine göre değişir. "Gölge eğrileri üzerindeki her nokta o güne ait düşey çubuğun gölge boyunun uzunluğunu ve gölgenin kuzeyle yaptığı açıyı verir. Yükseklik açısı, çubuğun yüksekliği ve gölge boyunun uzunluğundan oluşan dik üçgende taban ile hipotenüs arasında kalan açıdır" [36]. Eğriler ile doğrudan güney açısına ve dolaylı olarak yükseklik açısına ulaşılır. "Sonuçta Güneş'in gök küre üzerindeki yerini veren iki koordinatı ve yeryüzündeki bir nesnenin, bir P çubuğuna indirgenme yoluyla, attığı gölge bulunur. Gölge eğrileri 21 Haziran ve 21 Aralık günlerine ait gölge eğrileri arasında yer alır. Bu iki günden eşit uzaklıktaki günler için yaklaşık olarak aynı gölge eğrisi geçerlidir" [36].

Bu tez çalışması kapsamında kullanılacak olan gölge eğrileri Türkiye'nin ortasından geçen 39. enleme göre hazırlanmış gölge eğrileridir. Şekil 2. 5'de 39. enleme ait gölge eğrileri verilmiştir. 39. Enleme göre hazırlanmış gölge eğrilerinin tüm Türkiye için kullanılmasının sebebi Türkiye'nin coğrafi konumunun özel durumudur. Türkiye 36° ve 42° enlemlerinin arasında yer almaktadır. Bu iki sınır enlemde yer alan illerin sayısı oldukça azdır. "Gök bilimiyle ilgili çalışmalarda çift dereceli enlemlerle çalışılmaktadır" [36]. Bunun sebebi ardışık enlemler arasında önemli ayrımların olmayışıdır. Ekvatordan geçen başlangıç enleminin 0° olması ikişer derece arayla devam eden enlemlerin de çift sayılar olmasına neden olmaktadır. Türkiye'de ise ikişer derece aralıklı enlemler olarak 37° enlemi, 39° enlemi ve 41° enlemlerinin kullanılması daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Bu çalışmada yararlanılan gölge eğrileri yönteminde Türkiye'nin ortasından geçen 39° enlemi dikkate alınmıştır. "Bu durumun sebebi, enlemler arasında oluşan farkın çalışmanın amacının yanında ihmal edilebilir olması olarak açıklanmıştır" [36].



Şekil 2. 5 39° Enlemine ait gölge eğrileri [36]

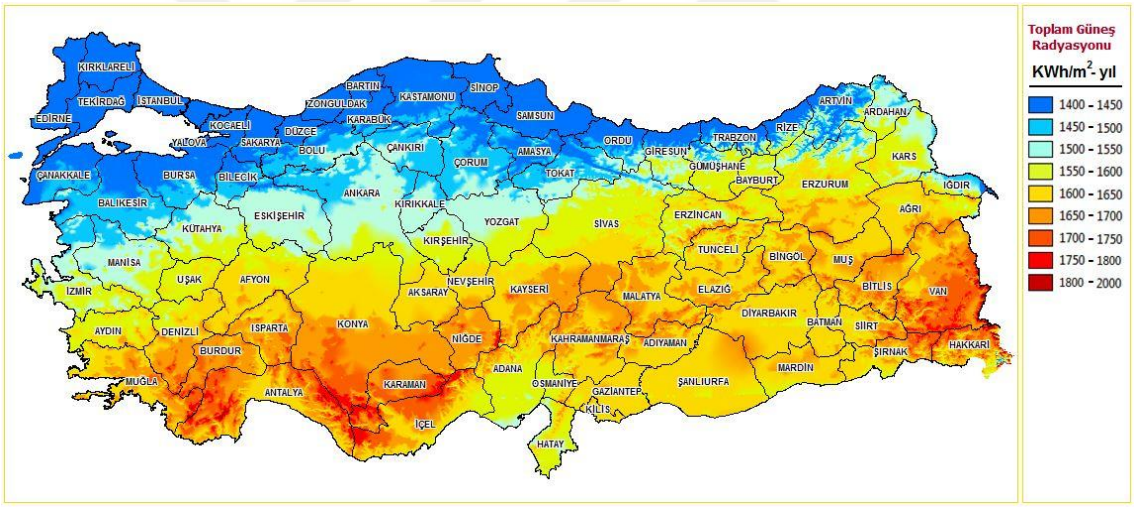
2.3 İklim Bölgeleri

Farklı iklim bölgeleri sınıflandırmaları vardır. “Türkiye ılıman iklim kuşağı ile subtropikal iklim kuşağı arasında kalmaktadır. Türkiye’nin coğrafi konumu ve sahip olduğu coğrafi biçimlenişleri farklı özelliklerde iklim bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur” [37]. Türkiye açısından da en çok kullanılan sınıflandırmaya göre iklim bölgeleri sırasıyla sıcak ve nemli iklim, sıcak ve kuru iklim, ılıman ve nemli iklim, ılıman ve kuru iklim ile soğuk iklim bölgeleridir. Türk standartlarında iklimsel değerlendirme olarak dört ayrı derece gün bölgeleri tanımlanmıştır [38]. Başka bir sınıflandırmaya göre Türkiye’de tanımlanan farklı yedi bölge kapsamında Akdeniz, Doğu Anadolu, Ege, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu ve Marmara bölgeleri vardır. Isıl etkiye göre yapılan sıcaklık ve nem özelliklerini dikkate alan sınıflandırma bu çalışma kapsamında uygun görülmüştür.

Çalışmanın kapsamında güneşe bağlı bir yenilenebilir enerji sistemi kullanılmasından dolayı, ısıtma ve soğutma yüklerine etki eden sıcaklık ve nem durumuna göre iklim sınıflandırılması yapan anlayışın yanında, güneş enerji potansiyelini gruplayan bölge anlayışına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi potansiyel atlasına göre yüksek dereceli enlemlerden ekvatora doğru yaklaştıkça güneş enerji potansiyeli artmaktadır. İklim bölgeleri ise Türkiye coğrafyasında güneş potansiyelinden farklı dağılmaktadır.

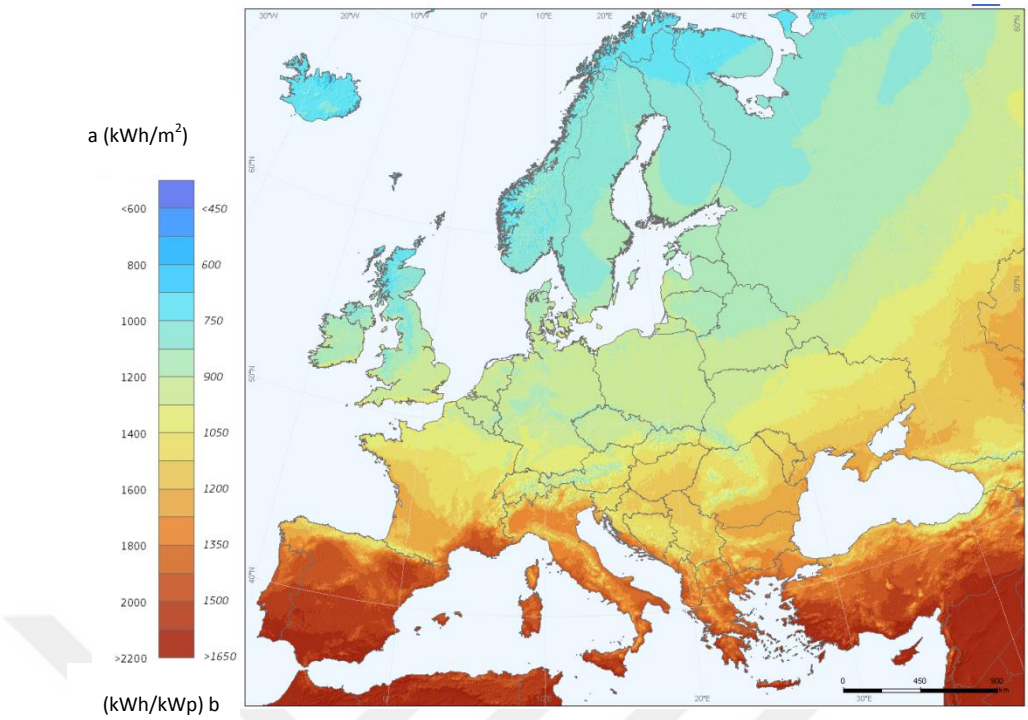
(Çalışma yapılacak illerin hem farklı bir iklim bölgesinden hem de farklı bir güneş enerji potansiyeli bölgesinden seçilmesi, tüm sistem açısından değişkenlerin değiştirilerek daha önemli değişimleri veren sonuçlara ulaşılabilmesini sağlayacaktır.) Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerini kullanarak EİE'nin hazırladığı çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama ışınım şiddeti 1,311 kWh/m^2-yıl olarak bulunmuştur [7].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde bulunan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün hazırladığı il bazlı güneş enerjisi potansiyel atlasına (GEPA) göre Türkiye'nin kWh/m^2-yıl cinsinden toplam güneş radyasyonu dağılımı Şekil 2. 6'da gösterilmiştir [14]. GEPA atlasının oluşturulması sırasında, EİE ve DMİ istasyonlarında 1985 ve 2006 yıllarına ait ölçüm yapılan 22 yıllık saatlik güneş ölçüm değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2. 6 GEPA'ya göre kWh/m^2-yıl cinsinden toplam güneş radyasyonu dağılımı [14]

Türkiye ve Avrupa için 1kWp'lik sistemle, optimum açılı modüllerin üzerine gelen güneş ışınımı ve yıllık elektrik üretimi Şekil 2. 7'de gösterilmiştir (performans oranı 0,75).



Şekil 2. 7 Avrupa ülkelerinde optimum eğimli fotovoltaiklerin güneşten elektrik üretme potansiyeli (a: Küresel ışıma-kWh/m^2, b: Güneş elektriği-kWh/kWp) [39]

Avrupa ve Türkiye potansiyelleri karşılaştırıldığında Türkiye'nin daha yüksek olan potansiyeli gözlenebilmektedir. Avrupa'nın kendi iklimsel şartlarında PV sistemlere verdiği önem, Türkiye şartlarında güvenilecek bir yatırım olduğunu ortaya koymaktadır.

2.4 Ofis Binaları

Çalışma kapsamında ofis tipi binalar, bina kabuğundaki saydam alan oranları, yıllık ve günlük kullanım süreleri ve enerji tüketimi açılarından tercih edilmiştir. Gölgeleme elemanının kamaşma problemini önlemesi ve sıcak dönemde soğutma yükünü düşürmesi gibi işlevleri ofis tipi binalarda oldukça önemli olması ile birlikte yenilenebilir enerji kaynağı olarak PV sistemin ürettiği enerjinin gün içinde aktif olan ofis binasında depolanmaya gerek kalmadan kullanılabilecek olması, ofis tipi binaların bu çalışmada tercih edilmesinin nedenlerindendir.

Günümüzde ofis binalarının camdan birer tasarıma dönüşmüş olması iç çevrenin, dış çevre şartlarından daha çok etkilenmesine neden olmaktadır. Bina kabuğunda %100'e varan saydamlık oranı kullanılarak, opak yüzeylere göre daha zayıf olan cam yüzeylerden (saydam alanlardan), dış çevre şartları altında iç çevrede konfor koşullarını

sağlaması beklenmektedir. Cam teknolojisi, bir bina kabuğunun sağlaması gereken tüm özellikleri tek başına sağlamak için yeterince çözüm üretecek düzeye ulaşamamıştır. Bunun yanında, kaplamalı camlar gibi cam teknolojileri üretim aşamasında daha fazla enerji harcanmasına neden olmaktadır.

Bina kabuğunda yeterince sağlanamayan fiziksel konfor koşulları iç çevrede mekanik sistemlerin yardımıyla çözülmeye çalışılmaktadır. Bu noktada enerji harcamaları artmaktadır. Bir ofis binası ısıtma yükleri, soğutma yükleri, aydınlatma yükleri, mekanik havalandırma, diğer mekanik sistem yükleri ve ofis ekipmanlarının yükleriyle yüksek enerji tüketim düzeylerine ulaşmaktadır. Ofis tipi binalar tüm bina tipleri içinde, yıllık 100Kwh/m^2 ile 1000Kwh/m^2 arasında enerji tüketerek, en çok enerji tüketen bina tiplerindendir [5].

Cam teknolojisinden beklenen çözümlerin pasif bina kriterleri ile çözülmeye çalışılması daha sürdürülebilir mimari tasarımların ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

Saydam alanlara ofis binası ile kurduğu ilişkiden bakıldığında, saydam alanların kamaşma sorununa sebep olmaması istenir. İç mekanda görsel konforun iş verimi açısından önemli olduğu bu tip binalarda ışık kontrastları önlenmelidir. Bunun yanında, saydam alanlar bina kabuğunun zayıf alanları olduğu için soğutmanın istendiği dönemde güneş ışınımlarının ısıtıcı etkisini iç mekana alarak soğutma yüklerini artırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı (doğrultulu) güneş ışınımları bina kabuğunda kontrol altına alınmalıdır. Güneş ışınımlarına karşı alınan önlemlerin yanında, çalışanların psikolojileri açısından dış mekanla iç mekanın ilişki kurması olan görsel bağlantı, saydamlık oranıyla belli yüzdelerin üzerinde tutulması beklenir.

2.4.1 Ofis Binasının Kullanım Aralığı, Kullanıcı Profili, Kullanıcı Yoğunluğu ve Ofis Binalarında Konfor Koşulları

Ofis binaları işlevleri açısından, haftanın iş günlerinde ve günün iş saatlerinde yoğun biçimde kullanılan binalardır. Geniş bir yaş grubu tarafından kullanılan ofis binalarının kullanıcı profilini sürekli çalışanlarının yanında geçici ziyaretçiler de oluşturmaktadır. Kulanım yoğunluğu ise orta ve üst seviyeler aralığında değişmektedir.

Ofis binalarının, sabahın erken saatlerinden akşamın geç saatlerine kadar, gündüz saatlerini içine alarak, gün içi hava değişim şartlarına uyum göstermenin yanında mevsimsel farklılıkları da içeren iklimsel şartlar altında, yapılan etkinlik çeşidine göre, geniş kullanıcı aralığında insanların fiziksel konfor koşullarını sağlaması gerekir.

2.4.2 Çok Katlı Ofis Binalarının Tarihi Gelişimine Enerji Korunumu Açısından Bakış

Önemli bir kısmını ofis tipi binaların oluşturduğu yüksek yapılar, tarihsel bağlamda çeşitli mimari gelişimlerinin yanında enerji performansı açısından da değişimler yaşamıştır. Amerika Birleşik Devletleri, yüksek yapıların öncülerinin tasarlanması ve teknolojik ve mimari gelişmelerin öncüsü olması nedeniyle yüksek bina tarihinin okumasının yapılabileceği bir ortamı oluşturmaktadır.

'1885 yılında ilk yüksek yapı ile başlayan ve 1916 yılına uzanan dönemdeki yüksek binalarda bina kabuğu kalın, masif ve kagir, iç yüzeylerin alçı sıvalı olduğu opak alanlardan ve %20 ile %30 arasında saydam alandan oluşuyordu' [40]. Basit camlarda ısı kayıplarının fazla olmasına rağmen ısı depolama kapasitesi yüksek duvarlar ile pasif şekilde ısısal konforu sağlıyordu. 'Hantal yapıları nedeniyle doğal aydınlatmadan yararlanma konusunda geri kalmış olmalarına rağmen bu dönemin binaları enerji performansı yüksek binalardır' [40].

'1916 ve 1951 yılları arasında değişen imar yönetmeliği ile ortaya çıkan düğün pastası modeli yüksek binalar daha narin hale gelmişlerdir'. Bina kabuğunda saydam ve opak alan oranları fazla değişmemekle beraber, bina hacmine oranla bina kabuğu alanının artmış olması ısıtma yüklerini arttırmıştır. Bu durumun yanında doğal aydınlatmadan daha fazla yararlanılmış olması enerji performansının fazla değişmemesine yol açmıştır' [40].

'1951 ile 1973 yılları arasındaki dönemin yüksek binalarının temel özelliği masif duvarlardan hafif giydirme cephelere geçilmiş olmasıdır. Bu dönemde saydam alan oranı %20 ile %35 düzeyinden %50 ile %75 düzeyine yükselmiştir' [40]. Bu tür binalar, doğal değişkenleri tasarımda kullanmaktan uzaklaşmışlardır. Cam giydirme cephelerde enerji performansı oldukça düşmüştür. Yazın iç mekanlar daha fazla ısınırken kışın iç mekan daha fazla soğumuştur ve bu durum enerji giderlerini yükseltmiştir. Cam

giydirme cephelerin yüzey renklerinin koyu seçilmesi yaz aylarındaki ısı artışının bir başka sebebini oluşturmuştur. Bu durumda mekanik havalandırma yükleri artmıştır. Renklendirilen camların günışığı geçirgenlikleri de düşmüş ve aydınlatma yüklerinin artmasına sebep olmuştur. 'Yapılan bir araştırmaya göre 1960'larda yapılan binaların enerji tüketimi 1950'lerde yapılan binaların enerji tüketimlerinin yaklaşık iki katıdır' [40].

1973 ile 1979 yılları arasındaki yapılarda 70'li yılların enerji sorunu etkisini göstermiştir. Çeşitli enerji performansı yönetmelikleri çıkarılmıştır. 'Çift cam kullanımı, doğramaların kullanımı bu yönetmeliklerde zorunlu hale getirilmiştir. Cam teknolojisinin ısı yalıtımı ve güneş kontrolü doğrultusunda geliştirilmesine başlanmıştır' [40].

Günümüze kadar olan dönemde, enerji performansında önemli değişiklikler olmamakla beraber ekolojik ve enerji etkin yapı tasarımları ile pasif yapı tasarım kriterlerine geri dönüş gözlenmektedir. Doğal havalandırma ve günışığından faydalanmak üzere merkezi atrium tasarımları uygulanmıştır. Bu tür atrium tasarımları soğuk iklimlerde ısıtma yüklerini arttırıcı sonuçlara neden olabilmektedir. Açılabilir pencerelerle doğal havalandırma sağlayan çift cepheler tasarlanmıştır' [40]. Bu dönemde daha çok doğal havalandırma üzerinden değişimler yaşanmıştır. Ayrıca binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üreten teknolojiler de kullanılmaktadır.

Bu tarihsel perspektiften bakış sonucunda, pasif bina kriterlerinin kullanılarak bina enerji performansının iyileştirilmesi, ardından yenilenebilir enerji sistemleri ile binanın kendi enerjisini üretmesi güncel bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.5 Bina Enerji Simülasyon Programı Kullanımı

Bina enerji simülasyonu, dijital ortamda gerçek durumdaki koşulların oluşturularak binanın modellenmesi yoluyla binanın tüketeceği enerji miktarının tahmin edilmesini sağlayan bilgisayar programıdır. Bina tasarımının uygulamaya geçirilmeden önce enerji tüketim değeri hesaplanabileceği gibi iyileştirme yapılacak bir binanın da yeni durumunun enerji performansı hesaplanarak mevcut haliyle karşılaştırılabilir. Bu sayede, denemeler yapılarak en uygun çözüme ulaşılabilmesini sağlar.

Bilgisayar teknolojisinin olmadığı ve yeterince gelişmediği dönemlerde bir binanın tüketeceği enerji miktarının hesabı el ile yapılıyor ve aydınlatma, ısıtma, soğutma varsa mekanik havalandırma gibi enerji tüketen sistemlerin enerji tüketim değerleri ayrı ayrı hesaplanıp toplanarak binanın toplam enerji tüketim değerlerine ulaşılabiliyordu. 1960'ların başından itibaren ilk enerji hesaplama programları kullanılmaya başlanmıştır. "Isıtma yüklerinin hesaplanmasında genel olarak derece gün hesabı kullanılıyordu". Hem ısıtma hemde soğutma yükü hesaplamalarında bin yönetimi de kullanılmaktaydı [41]. Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisi ve geliştirilen programlar ile daha detaylı ve sistemlerin birbirleriyle etkileşimiyle daha bütüncül sonuçlar elde edilebilmektedir.

Programlar, binayı ve binanın enerjiyi nasıl kullandığını kurgulayan ve etkileşim içinde olan detaylı denklemlerin bilgisayar ortamında biraraya getirildiği yazılımlardır. Hem binanın toplam enerji performansını belirleyen hem de binada kullanılacak mekanik sistemlerin boyutlandırılmasını yapabilen bunların yanında bina içindeki ve dışındaki çevrenin değişimini izleyip kısa zaman aralıklarıyla hesaba katabilen programlara tüm bina enerji analizi araçları denmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında Energy Plus simülasyon programı Design Builder arayüzü ile kullanılmıştır. İki ana aşamadan oluşan simülasyon programında ilk aşama, üzerinde çalışılan binanın modellenmesi ikinci aşama ise binanın çalıştırılacağı programlanmanın yapılandırılmasıdır. İkinci aşamada bahsedilen çalışma özellikleri etkinlik (activity), strüktür (construction), açıklıklar (openings), aydınlatma (lighting), ısıtma-havalandırma-iklimlendirme (HVAC), ve üretim (generation) sekmeleri altında tanımlanmıştır.

Etkinlik sekmesinde, bina kullanım programı, bina kullanıcı yoğunluğu, etkinlik düzeyi, giyim değeri, sıcak kullanım suyu, ısıtma ve soğutma ayar sıcaklıkları, havalandırma ayar sıcaklıkları ve iç kazanç miktarları bulunmaktadır.

Strüktür sekmesi altında binayı oluşturan tüm duvar, döşeme, tavan, çatı kesitlerinin malzeme dizilimleri, kalınlıkları, U değerleri belirlenmektedir.

Açıklıklar sekmesi, U değeri gibi saydam yüzey özelliklerinin belirlenmesi, çerçeve özellikleri, saydamlık oranı, pencere boyutlandırmaları, otomatik olarak gölgeleme elemanlarının oluşturulması ile birlikte kapı özellikleri gibi seçenekleri içermektedir.

Aydınlatma sekmesi, aydınlatma aygıtı tipi ve aydınlatma kontrolü gibi düzenlemeleri içermektedir.

HVAC sekmesi, binanın genel HVAC sisteminin seçilmesi, mekanik ve doğal havalandırma sistemi, ısıtma sistemi, soğutma sistemi, sıcak kullanım suyu sistemi ayarları gibi düzenlemeleri içermektedir.

Üretim sekmesinde ise eğer binada PV sistem veya rüzgar türbini gibi yenilenebilir enerji kaynakları varsa bu sistemlerin denetimi yapılmaktadır. Bir PV sistem açısından burada yük merkezi, çalışma programı, akım tipi ayarı, çevirici ve depolama seçimleri yapılabilmektedir.

Programda PV sistem seçimi ile ilgili ayarlamalar, doğrudan PV strüktürü üzerinden ulaşılan seçenekler ile devam etmektedir. Performans tipi olarak simple (basit) ve equivalent one diode seçenekleri bulunmaktadır.

Simple seçeneğinde hesaba katılan değişkenler [42], [43],

- PV sistemin ürettiği elektrik gücü,
- Net yüzey alanı,
- Yüzey alanı ile aktif güneş hücresi oranı,
- PV dizisine gelen toplam güneş ışınımı,
- Modül dönüşüm verimi ve
- DC AC dönüşüm verimidir.

Bu değişkenleri kullanarak formüle göre hesaplama yapar. Sabit bir verim değeri ile çalışarak yaklaşık bir tahmin yapılmasını sağlayan basit bir seçenektir.

Equivalent one diode seçeneği simple seçeneğine göre oldukça detaylı ve daha gerçekçi bir seçenektir. Bu model TRNSYS PV model olarak da bilinir. Equivalent one diode seçeneğinde hesaba katılan çok sayıdaki değişkenlerden bazıları [42], [43],

- PV dizisinin eğimi,
- Modül dönüşüm katsayısı,
- Gelen güneş ışınımının açısı,
- P-V eğrisi ayarlama parametresi,
- PV dizisine gelen toplam ışınım,
- Akım,
- I-V eğrisinde maksimum güç noktasında akım,
- Boltzmann sabiti,
- Dizideki paralel bağlı PV modül sayısı,
- PV dizisindeki seri bağlı modül sayısı,
- Herbir PV modüldeki hücre sayısı,
- I-V eğrisinde maksimum güç noktasında PV güç çıktısı,
- Modül sıcaklığı,
- NOCT durumunda modül sıcaklığı,
- Referans durumda modül sıcaklığı,
- Dizi ısıl kayıp katsayısı,
- Gerilim (voltaj),
- I-V eğrisinde maksimum güç noktasında gerilim

gibi değişkenlerdir. Bu değişkenler çeşitli formül basamaklarında kullanılmaktadır. Programın bünyesinde farklı PV teknolojileri arasından seçim yapılabilmektedir. Seçilebilen hücre tipi olarak kristal silikon ve amorf silikon hücre tipi seçenekleri verilmiştir. PV tipinin üretim boyutları verilmemiştir ama m^2 cinsinden bir modülün aktif alanı verlmiştir.

PV sistem hesabı yapan birçok program mevcuttur fakat aynı program içinde bütünleşik olarak binanın tüm enerji simülasyonlarını gerçekleştirebilmesi nedeniyle Design Builder ile çalışılmıştır.

BÖLÜM 3

GÖLGELEME ELEMANI OLARAK FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN OFİS BİNALARININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİ DEĞERLENDİREN BİR YAKLAŞIM

Bu çalışmada, yüksek enerji tüketim değerlerine sahip ofis tipi binalarda enerji tüketimini azaltabilmek için iklimle dengeli ve yenilenebilir enerji kaynakları ile bütünleştirilerek tasarlanmış bir ofis binasını, gölgeleme elemanlarıyla bütünleştirilmiş fotovoltaik sistemler üzerinden değerlendiren bir yaklaşım oluşturulmuştur.

3.1 Yaklaşımın Amacı

Bu çalışma kapsamında oluşturulan yaklaşımın amacı, iklimle dengeli tasarlanan bir ofis binasında, hem gölgeleme elemanı olması açısından bir pasif sistem hem de yenilenebilir enerji kaynağı olan fotovoltaik sistem olması açısından aktif sistem olan, PV sistem ile bütünleştirilmiş gölgeleme elemanı tasarımının, ofis binası enerji performansına etkisinin %100 saydamlık oranındaki ofis binasıyla (yüksek enerji tüketimli), farklı iklim bölgelerinde karşılaştırılarak değerlendirilmesidir.

3.2 Yaklaşımın Adımları

Bu çalışma kapsamında oluşturulan yaklaşımın adımları aşağıdaki gibidir:

- Çalışılacak iklim bölgelerinin tanımlanması,
- Ofis binasının tanımlanması,
- PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının tasarlanması,
- Enerji performans analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi.

3.2.1 Çalışılacak İklim Bölgelerinin Tanımlanması

Bu tez çalışması kapsamında çalışılan yerin (güneş etkinliğine bağlı) iklim verileri sonuçlar üzerinde doğrudan etkili olacağından ve verilen kararları etkileyeceğinden, çalışılacak iklim bölgeleri belirlenmeli ve iklim verileri doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Çalışılacak yerin iklimsel özellikleri ilk önce, iklimle dengeli olarak tasarlanan referans binanın tasarlanmasında etkili olacaktır. Güneş etkinliğine bağlı olarak, çalışılan yerin özellikleri güneşten korunma dönemini belirleyecektir. PV sistem performansını etkileyecek güneş ışınım miktarı çalışılan yere göre değişmektedir. İklim bölgesinin sıcaklık verisi, soğutma dönemi sınırlarını, PV sistem performansını ve bina kabuğu tasarım kararlarını etkileyen önemli bir veridir.

3.2.2 Ofis Binasının Tanımlanması

Bu çalışmada ofis binasının tanımlanması, modellenmesi (tasarlanması) ve programlanması olarak ikiye ayrılarak ele alınmıştır.

Ofis binasının modellenmesiyle ilgili değişkenler;

- Ofis binası tanımlanırken, tasarlandığı yere ait yönetmeliklerin gereklilikleri,
- İklimle dengeli tasarlanmak istenen bir ofis binasının tasarımında, biçim oranları, kesit özellikleri, iç çevrenin dış çevreden etkilenme yüzdesini belirleyen ve dolayısıyla iç mekan konfor koşullarının belirleyicisi bina kabuğunun saydamlık oranı gibi değişkenler iklimsel değişkenlere göre

belirlenmelidir.

Ofis binasının programlanmasıyla ilgili değişkenler;

- Ofis binasının, konfor koşullarını sağlaması beklenen günlük çalışma aralığı belirlenmelidir. Bunun yanında etkinlik çeşidi ve etkinlik çeşidine bağlı olarak kullanıcı yoğunluğu, metabolik etkinlik düzeyi, günlük sıcak su tüketimi, ısıtma ve soğutma ayar sıcaklıkları, temiz hava gereksinimi, aydınlatma gereksinimi, havalandırma limitleri, nem kontrolü ve iç kazançlar gibi özellikler,

- Aydınlatma tipi, aydınlatma aygıtı, aydınlatma sisteminde yapay ve doğal aydınlatmaların etkileşimini gösteren kontrol sisteminin varlığı gibi aydınlatma sistem özellikleri,
- Isıtma-havalandırma ve iklimlendirme sistem (HVAC) seçimi ve bununla birlikte mekanik havalandırma sistemi, doğal havalandırma sistemi, ısıtma sistemi, soğutma sistemi, nem kontrolü ve sıcak kullanım suyu sistemi gibi sistemlerin özellikleri,

belirlenmelidir.

Ofis binasını tanımlayan model ve program belirlemelerinden sonra ofis binasının etkileşim içinde olduğu komşu binalar gibi yakın çevre verileri ve yönlenme durumu gibi dış ve iç çevreye ait kabuller açıklanmalıdır.

3.2.2.1 Referans Binanın Oluşturulması

Referans bina, çalışmanın yapıldığı yerdeki yönetmeliklere ve iklim özelliklerine bağlı olarak tasarlanan sanal bir binadır [44]. Sonraki adımlarda, referans binanın enerji performansı ile referans bina üzerinden yapılan PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanları tasarımının enerji performansları % olarak karşılaştırılarak, tasarımın enerji performansını nasıl etkilediği gözlenir.

Çalışma kapsamında referans ofis binası, iklimle dengeli bir tasarım ürünü olarak pasif önlemlerin alındığı ofis binasını temsil etmektedir.

3.2.2.2 %100 Saydamlık Oranındaki Binanın Oluşturulması

Bu çalışma kapsamında %100 saydamlık oranındaki bina, günümüzdeki ofis binası tasarım anlayışını temsil etmektedir. %100 saydamlık oranındaki bina, referans binanın saydamlık oranı, iklim ve yönlenme değişkenleri göz ardı edilerek değiştirilmiş halidir. %100 saydamlık oranındaki bina, referans binanın PV sistem ile bütünleştirilmiş gölgeleme elemanı tasarımının enerji performansını günümüzdeki ofis binası tasarım anlayışıyla karşılaştırmak için oluşturulmuştur.

3.2.3 PV Sistem ile Bütünleşik Gölgeleme Elemanının Tasarlanması

Hem bir gölgeleme elemanı sistemi şeklinde hem de bir fotovoltaik sistem şeklinde çalışacak olan bütünleştirilmiş sistemin tasarlanmasında her iki işlevin amaçları belirlenmelidir. Gölgeleme elemanı veya PV sistem işlevlerinden birinin amacına öncelik verilmesinin yerine her iki sistemin amaçları ortak bir şekilde çözüme ulaştırılmalıdır.

PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımında, tasarım sırasında kullanılacak değişkenler belirlenmeli ve PV sistem tasarım gereksinimleri (değişkenler-göz önüne alınacak etmenler), gölgeleme elemanı tasarım gereksinimleri ve PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı ortak tasarım gereksinimleri açıkça ortaya konulmalıdır. (Binanın enerji performansına katkı sağlaması beklenen PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımının hem ayrı ayrı hemde bir bütün olarak sağlaması gerekenler belirlenir.)

Bir fotovoltaik sistemin enerji performansını etkileyen etmenlere uyulmalı ve standart üretim boyutları dikkate alınmalıdır.

Gölgeleme elemanı tasarlandığı bina cephesinin, güneş ışınımıyla ilişkisi içinde değerlendirilmelidir.

3.2.3.1 PV Sistem ile Bütünleşik Yatay Gölgeleme Elemanı Tasarımı

PV sistem ile bütünleşik sabit yatay gölgeleme elemanı tasarımında belirlenmesi gereken, PV sistemin belirlenen eğim düzleminde gölgeleme elemanının uzunluğunun belirlenmesidir.

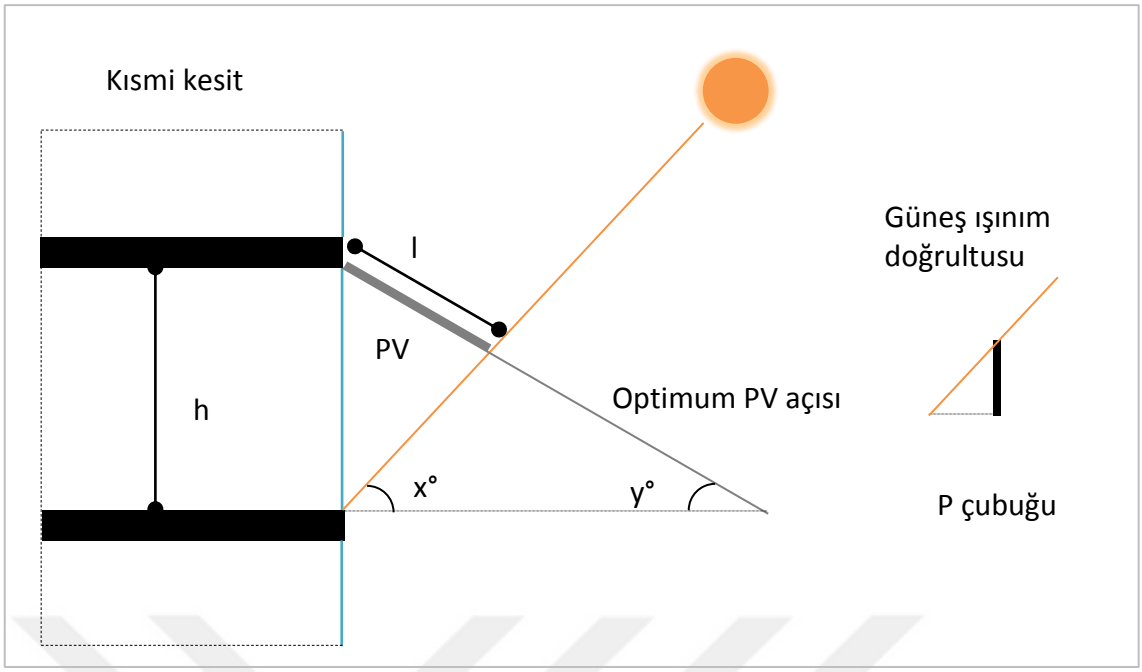
Çalışma kapsamında güney cephesinde PV sistem ile bütünleşik sabit yatay gölgeleme elemanı için oluşturulan yaklaşımın aşamaları;

- Birinci aşamada, PV sistemin yatay düzlem üzerinde yaptığı açı (güney açısı) belli olduğuna göre (tam güney yönünde) eğim açısına karar vermek gerekir. Burada yapılması gereken yılın hangi döneminde PV etkinliğinden yararlanılmak istendiğinin belirlenmesidir. Sadece yaz, sadece kış veya daha özel belirlenmiş bir aralıkta yararlanmak isteneceği gibi bütün yıl boyunca da yararlanılmak istenebilir.

Ardından yararlanılmak istenen döneme göre optimum PV eğim açısına karar verilir,

- İkinci aşama, ilk aşamada açısal doğrultusuna karar verilen gölgeleme elemanının, cephedeki saydam alanı istenen dönemde güneşten korumasını sağlayacak sınır ölçülerini veren karakteristik gün ve saate karar verilir,
- Üçüncü aşamada ise gölge eğrileri yönteminden yararlanılarak karakteristik gün ve saatteki güneşin yükseklik açısını bulma yoluyla yatay gölgeleme elemanının cepheden dışa doğru olan uzunluk ölçüsü bulunur,
- Dördüncü aşamada PV sistem ile bütünleştirilmiş gölgeleme elemanı tasarımının görsel verim açısından denetimi yapılır. Bir pencere sisteminin ve onun saydam alanının temel özelliklerinden olan dışarıyla görsel ilişki kurulması belli bir yüzdenin üzerinde engellendiğinde saydam alan temel işlevlerinden birini kaybetmeye başlar. Bu sebeple PV sistem ile bütünleştirilmiş gölgeleme elemanı tasarımının saydam alanın işleviyle dengesi denetlenmelidir. Yatay gölgeleme elemanının görsel verim değeri E_h'ın %40'ın altına düşmemesi tavsiye edilmektedir [8]. Çok düşük E_h değerlerinin çıkması durumunda PV sistemin eğimi, gölgeleme elemanının uzunluğu gibi değişkenler uygun E_h değerlerine ulaşılacak şekilde düzenlenir,
- Beşinci aşamada, bulunan boyutların istenen PV tipi ile oluşturulup oluşturulamayacağı denetlenir. Eğer istenen PV tipinde, hesaplanan ölçülere uygun modül üretimi yapılmıyorsa sonuçları fazla etkilemeyecek şekilde PV modül üretim boyutunun katları biçiminde bir düzenleme yapılabilir. Aksi durumda başka PV tipi için üretim boyutları denetlenebilir, üretim boyutuna bağımlı olmayan PV tiplerine geçilebilir, tasarıma özel boyutlarda üretim yapılabilir,

şeklindedir. Yaklaşım Şekil 3. 1'de özetlenmiştir.



Şekil 3. 1 Güney cephesinde PV sistem ile bütünleşik sabit yatay gölgeleme elemanı için oluşturulan yaklaşım

3.2.3.2 PV Sistem ile Bütünleşik Düşey Gölgeleme Elemanı Tasarımı

Sabit düşey gölgeleme elemanı tasarımında belirlenmesi gerekenler iki düşey eleman arasındaki mesafe, düşey elemanların genişlikleri ve düşey elemanın cephenin normali ile yaptığı açıdır. Doğrultulu güneş ışınımlarına karşı dik bir şekilde engel oluşturmayı amaçlayan gölgeleme elemanı tasarımı PV sisteme gelen ışınım miktarını da en üst düzeylere çıkarır. Doğu ve batı cephelerinde güneşin hareketinden dolayı sabit düşey PV sistem, doğrultulu güneş ışınımlarından sürekli olarak yararlanamayabilir. Bu durumun sebebi, güneş bu cephelerde bir yandan diğer yana (sağdan sola ya da soldan sağa) doğru hareket ederken, herhangi bir açıda duran düşey eleman şeklindeki bir PV sistem, bir süre güneşi ön tarafından alırken bir süre güneşi arka tarafından alacaktır. Güneşten korunma aralığının arttırılmasına paralel olarak PV sistemin güneşten yararlanma aralığı da artacaktır. Tasarımda, gölge eğrileri vb. yöntemlerden yararlanılabilir.

Çalışma kapsamında doğu ve batı cephesinde PV sistem ile bütünleşik sabit düşey gölgeleme elemanı için gölge eğrileri yöntemi kullanılarak oluşturulan yaklaşımın aşamaları;

- İlk aşamada, gölgeleme elemanının üzerinde bulunduğu binanın sabah ve/veya akşam saatlerinde doğrultulu güneş ışınımlarından korunması istenen saatleri belirlenmelidir. Bir ofis binası için bu, çalışma saatleridir. Ardından, sabah çalışmanın başladığı saat ve/veya akşam çalışmanın bittiği saat gölge eğrileri üzerinde gösterilir,
- İkinci aşamada, deneme yöntemiyle karşılaştırma yaparak seçim yapmak için, oluşturulan düşey gölgeleme elemanı seçeneklerinin güneşten koruduğu zaman aralıkları gölge eğrileri üzerinde gösterilir. Doğu cephesinde, çalışma başlangıç saatinden öğleye kadar batı cephesinde ise öğleden çalışma bitiş saatine kadar olan aralıkta gölgeleme elemanının etkinliğine bakılır. Oluşturan gölgeleme elemanı seçeneklerinden, doğuda öğleden önce çalışma aralığını ve batıda öğleden sonra çalışma aralığını en çok kapsayanı seçilir. Gölge eğrilerinde 21 aralık ve 21 hazirandaki güneşten korunan gün içi aralığın başladığı ve bittiği saatlere bakılarak sınır durumlar incelenebilir,
- Üçüncü aşamada, görsel verim açısından tasarımın kontrolü yapılır. Düşey gölgeleme elemanı görsel verim değeri E_v %40'ın altına düşmemesi önerilmektedir [8]. (Görsel verim değeri, w_v/d_v oranı ve β_v değerine bakılarak yaklaşık olarak ön tasarım için tahmin edilebilir.) Düşey elemanlar arası mesafe arttıkça görsel verim artacak, düşey eleman genişliği arttıkça görsel verim düşecek ve açı değeri arttıkça görsel verim düşecektir. w_v/d_v oranının değeri azaldıkça görsel verim artar, gölgeleme elemanının işlevi azalabilir,
- İkinci aşama ve üçüncü aşama birleştirilerek uygulanabilir. Bu durumda önce referans olacak herhangi bir w/d oranına sahip ilk tasarımın düşey elemanının farklı açıları, gölge eğrileri üzerinde karşılaştırılarak düşey elemanın optimum açısına karar verilir. Sonrasında, referans tasarımın görsel verimi hesaplanır. İstenen görsel verim değerinin sağlanmaması durumunda, w/d oranının farklı değerlerini verecek şekilde türetilen seçenekler gölge eğrileri üzerinde gölgeleme elemanı etkinliği üzerinden karşılaştırılarak en uygun tasarım seçeneği seçilir. Bu sayede, gölgeleme elemanı etkinliği ve görsel verim açısından optimum tasarım elde edilir.

- Dördüncü aşama aslında görsel verim ile doğrudan ilişkili aynı zamanda farklı açıdan bir denetim basamağıdır. Görsel verim denetimi aynı zamanda PV sistem verimi açısından da dolaylı bir denetimi sağlar. Düşey elemanların her biri gün içinde birbirlerine gölge atabilecek duruma gelebilir. Gölgelenme sorunu PV sistem açısından performansı önemli derecede düşüren bir durumdur. Bu durumun önüne geçmek için düşey elemanlar arası mesafe arttırılabilir, düşey elemanların genişlikleri azaltılabilir ve açı değeri azaltılabilir. Görsel verimin arttırılmasına paralel olarak düşey elemanların yani PV modüllerin birbirine gölge atma olasılıkları da azaltılmış olur,
- Beşinci aşamada, karar verilen düşey gölgeleme elemanı tasarımının her bir düşey elemanının istenen PV tipi ile oluşturulmaya uygun olup olmadığı kontrol edilir. PV modül üretim boyutları düşey eleman boyutlarına uygun olmadığı durumda, ya üretim boyutuna bağımlı olunmayan PV tiplerine geçilir ya da aşamalar arasında PV modül üretim boyutlarına bağlı olarak düşey elemanın boyutu sabit tutularak, aralık ve açı değişkenleri değiştirilerek bir tasarıma ulaşılır. Tasarım için özel boyutlarda üretimin yapılması da bir seçenektir. Güneş güney cephesini dolanacağı için düşey elemanın güneye bakan yüzeyi PV sistem ile kaplanmalıdır.

Yaklaşım olarak hem yatay hem de düşey gölgeleme elemanlarının PV modüller ile oluşturulması açıklanmıştır. Bir seçenek olarak başka bir malzeme ile oluşturulan gölgeleme elemanının üzerinin PV modüller ile kaplanması yapılabilir. Bu durumda oluşturulan gölgeleme elemanının alanının olabildiğince verimli kullanılarak üzerinin PV modül ile kaplanması gerekir. Bu seçenek PV modüllerin arkasının kapanarak ısınmalarını arttırabileceği için öncelikli olarak doğrudan PV sistemler ile gölgeleme elemanı tasarımının yapılması önerilir. Başka bir seçenek olarak, PV modüller ile tamamlanamayan elemanın geriye kalan alanları farklı bir malzeme ile de tamamlanabilir.

3.2.4 Enerji Performans Analizlerinin Yapılması ve Değerlendirilmesi

Bina enerji yükleri, modellenmesi ve programlanması tamamlanmış farklı bina tasarım senaryoları için ayrı ayrı uygun bir simülasyon programında hesaplanmalıdır. Bina

kabuğundan ısı geçişini gerçek atmosfer koşullarında periyodik rejimde saatlik hesap yapan bir program tercih edilmelidir.

3.2.4.1 %100 Saydamlık Oranındaki Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması

%100 Saydamlık oranındaki binanın yıllık enerji yükleri hesaplanır. Enerji tüketimi, toplam enerji (kWh), net enerji, birim bina alanı başına düşen enerji (kWh/m^2) ve birim iklimlendirilen bina alanı başına düşen enerji olarak hesaplanmalıdır.

3.2.4.2 Referans Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması

Referans binanın enerji yükleri bir önceki adımdaki gibi hesaplanmalıdır. Toplam enerji tüketimi ısıtma, soğutma, iç mekan aydınlatması, iç mekan ekipmanları ve su sistemleri için harcanan enerjileri içermelidir.

3.2.4.3 Gölgeleme Elemanlarının Kullanıldığı Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması

Gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın enerji yükleri yukarıdaki adımlarda açıklandığı kapsamda hesaplanır.

3.2.4.4 Gölgeleme Elemanlarının PV Sistemle Oluşturulduğu Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması

Gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın enerji yükleri yine yukarıdaki adımlarda belirtildiği kapsamda hesaplanır.

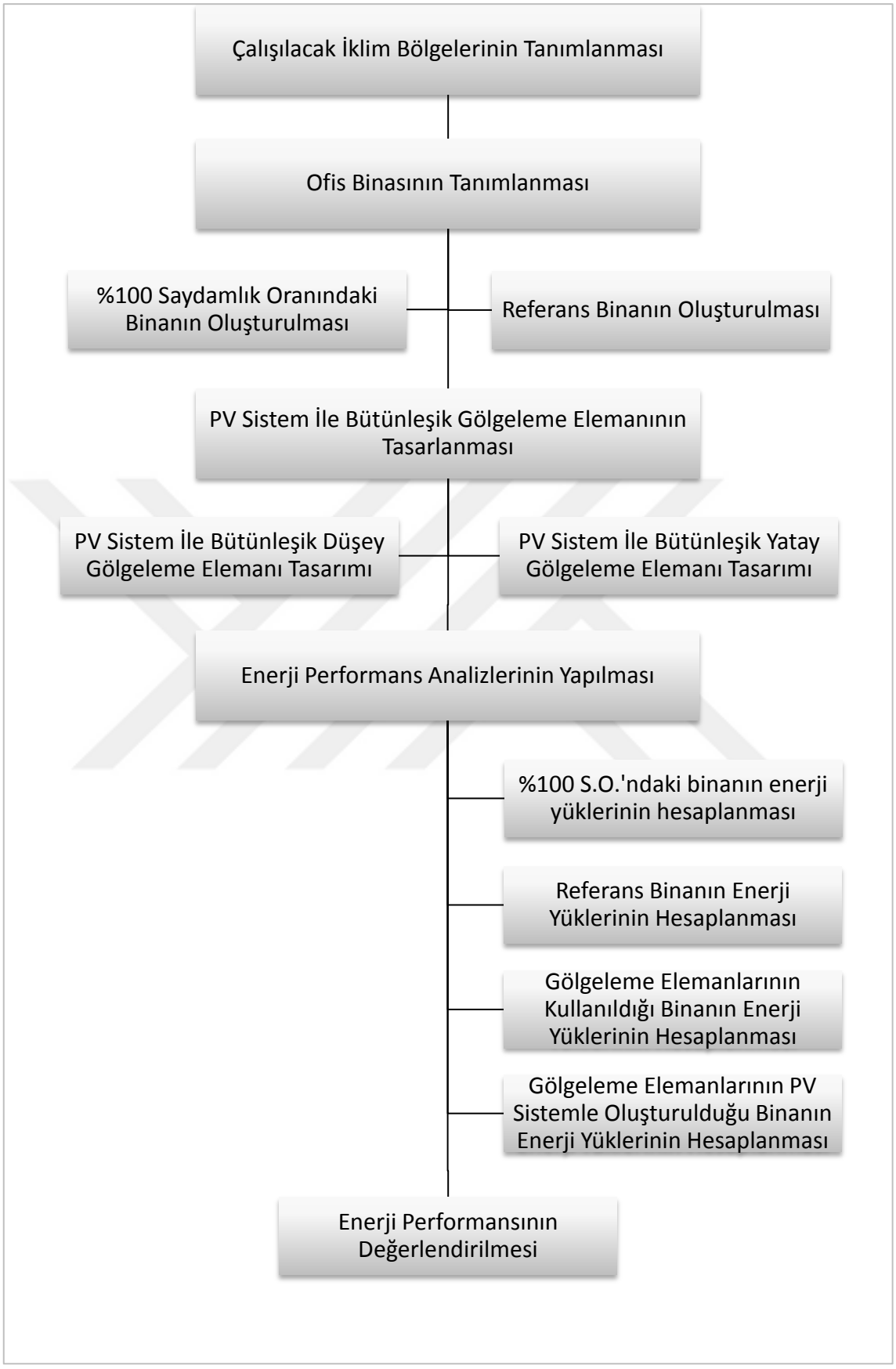
3.2.4.5 Enerji Yüklerinin Karşılaştırılması ve PV Sistem ile Bütünleşik Gölgeleme Elemanının Etkinliğinin Belirlenmesi

Tasarlanan ofis binasının aynı ildeki farklı senaryoları ve farklı illerdeki aynı senaryoları arasındaki enerji performansı değişimleri karşılaştırılır.

Çalışılan ilin kendi içindeki ofis binası tasarımı senaryoları, %100 saydamlık oranındaki bina, referans bina, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı bina ve gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binadır. Enerji performansı karşılaştırma analizleri ilk önce referans bina ve referans bina üzerinden yapılan iyileştirmelerin

karşılaştırılması şeklinde yapılır, sonrasında %100 saydamlık oranındaki binanın, referans bina ve gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu bina ile karşılaştırılması şeklinde yapılır.

Tüm bu aşamalar Şekil 3. 2'de akış diyagramında verilmiştir.



Şekil 3. 2 Akış diyagramı

BÖLÜM 4

GÖLGELEME ELEMANI OLARAK FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN OFİS BİNALARININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİ DEĞERLENDİREN YAKLAŞIMIN UYGULANMASI

Bu çalışma kapsamında oluşturulan yaklaşımın örnek uygulaması, iklimsel özelliklerinin ve güneş enerjisi potansiyellerinin farklı olduğu İstanbul ve Antalya illeri için yapılmıştır.

4.1 Uygulama Çalışmasının Amacı

Uygulama çalışmasının amacı, İstanbul ve Antalya illeri için elde edilen sonuçların değerlendirilerek enerji tüketimi yüksek ofis binasının yerine enerji performansı yükseltilmiş ofis binası tasarımı yaklaşımının uygulanabilirliğinin kanıtlanması, İstanbul ve Antalya illerindeki uygulama sonuçlarının farklılıkları üzerinden Türkiye'nin tamamı için iklim özellikleri ve güneş enerjisi potansiyeli üzerinden fikir verecek çıkarımların(değerlendirmelerin) yapılmasıdır.

4.2 Uygulama Çalışmasının Adımları

Uygulama çalışmasının adımları aşağıdaki gibidir:

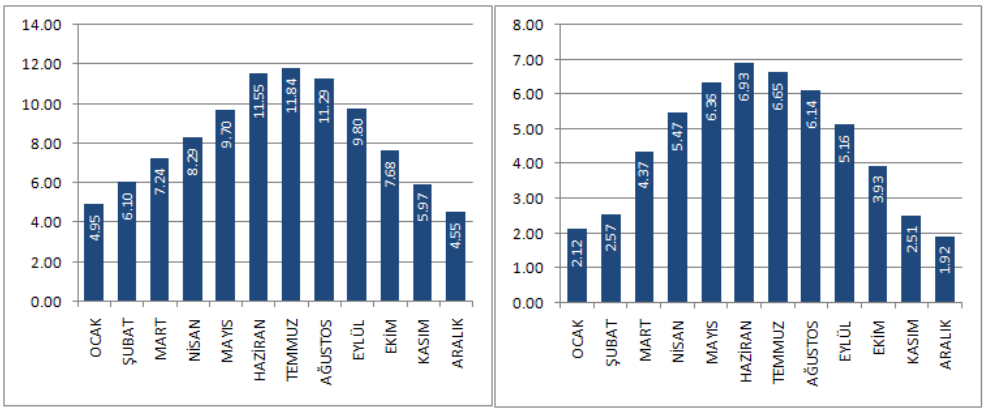
- Çalışılacak iklim bölgelerinin tanımlanması,
- Ofis binasının tanımlanması,
- PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının tasarlanması,
- Enerji performans analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi.

4.2.1 Çalışılacak İklim Bölgelerinin Tanımlanması

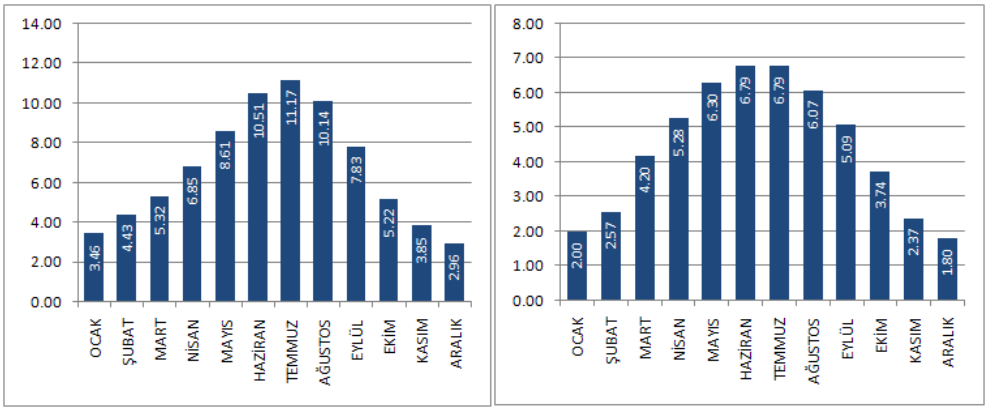
Bu tez çalışması kapsamında sonuçların farklı iklim bölgelerine göre nasıl değişeceğini gözlemlemek için iki farklı yer (il) seçilmiştir. Yer seçimi yapılırken Türkiye şartlarında hem sıcaklık ve nem kriterine göre yapılan iklimsel sınıflandırmaya göre farklı iklim bölgelerinden hem de güneş ışınım değeri potansiyelleri farklı olan bölgelerden iller seçilmiştir. Bu iller ılıman nemli iklim bölgesinden İstanbul ve sıcak nemli iklim bölgesinden Antalya'dır. İstanbul'un içinde bulunduğu Marmara Bölgesi'nde toplam güneş enerjisi 1168 kWh/m^2-yıl ve Antalya'nın içinde bulunduğu Akdeniz Bölgesi'nde toplam güneş enerjisi 1390 kWh/m^2-yıl değerlerindedir [7]. Bu sayede Türkiye'nin iki farklı yaklaşık uç güneş potansiyeli değerine sahip illeriyle çalışılmıştır. Ayrıca TS 825 yönetmeliğinde gösterilen çalışma bölgelerine göre Antalya birinci derece gün bölgesinde ve İstanbul ikinci derece gün bölgesindedir.

Soğuk bir bölgede çalışılmamasının sebebi, gölgeleme elemanı etkinliğine ihtiyaç duyulacak sürenin sıcak bölgeye göre kısa olacağı, bu sebeple PV sistem ile bütünleşik şekilde yapılan gölgeleme elemanı tasarımında, gölgeleme elemanı etkinliğinin düşeceği düşünülmüştür.

Şekil 4. 1'de Antalya ve Şekil 4. 2'de İstanbul için güneşlenme süreleri ve global radyasyon değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 Antalya ili için güneşlenme süreleri (sol) ve global radyasyon değerleri (sağ) [14]



Şekil 4. 2 İstanbul ili için güneşlenme süreleri (sol) ve global radyasyon değerleri (sağ) [14]

4.2.2 Ofis Binasının Tanımlanması

Ofis binasının tanımlanması referans ofis binası üzerinden yapılmıştır.

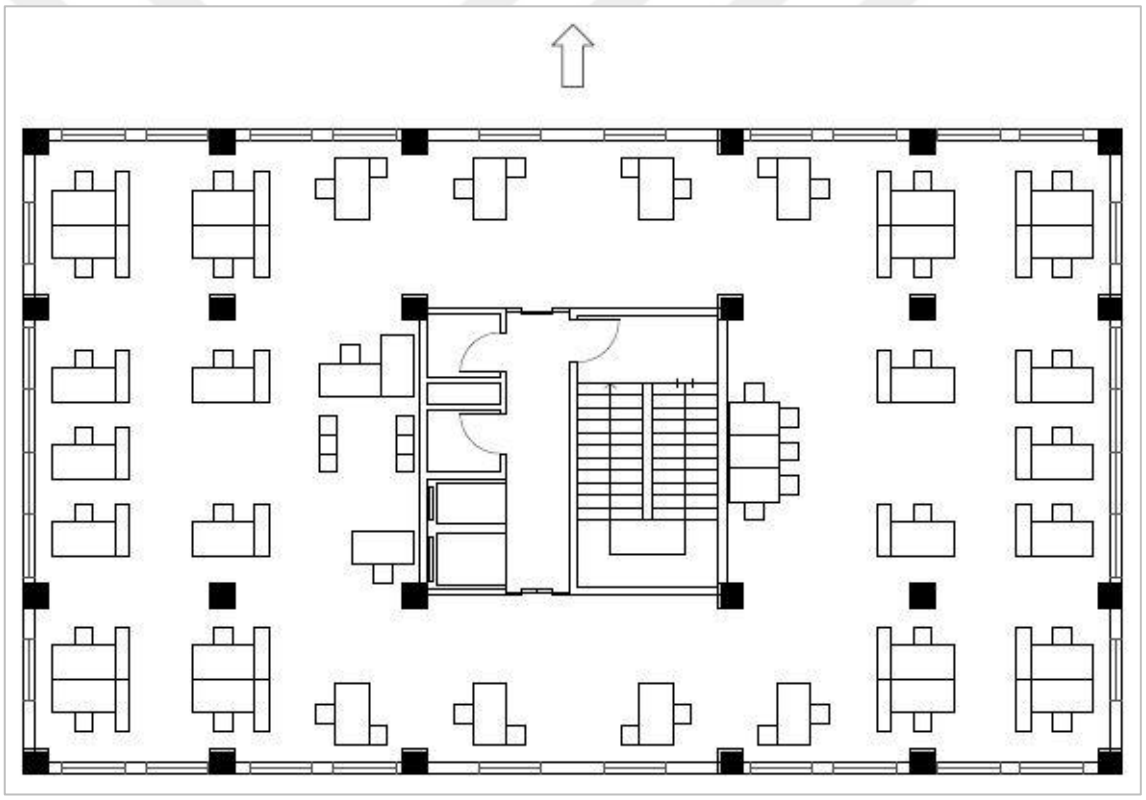
4.2.2.1 Referans Binanın Oluşturulması

İstanbul için referans ofis binası oluşturulurken imar yönetmeliği esas alınmıştır [45]. Orta ölçekli bir ofis binası oluşturulmuştur. Bina tasarımında planın merkezinde bir çekirdek oluşturulmuştur. Çekirdek (merdiven, asansör, wc, şaft) tasarımı yönetmelikteki zorunluluklar ve kat adedi, kullanım alanı, bina yüksekliği gibi değişkenlerin getirdiği yönetmelik gereksinimleri sonucu şekillenmiştir.

Çekirdek etrafında dört cepheyi dolanan açık planlı bir ofis yer almaktadır. Çalışmanın esaslarından biri olarak iklimle dengeli bir tasarım oluşturmak için Olgyay'ın 25° ile 45° kuzey enlemleri için iklim bölgelerine göre önerdiği bina biçim oranlarından yararlanılmıştır [46], [47]. Enlemi 41° olan İstanbul ve enlemi 37° olan Antalya için bu çalışmadan yararlanmak uygun görülmüştür. Olgyay'ın çalışmasında İstanbul gibi ılıman iklimler için bina kenar oranları 1'e 1,6 ile 1'e 2,4 sınırları arasında önerilmiştir. Antalya gibi sıcak nemli iklim bölgeleri için bina kenar oranları 1' 1,7 ile 1'e 3 sınırları arasında önerilmiştir. İlk başta verilen oranlar en uygun oranları ikinci verilen oranlar ise iyi kabul edilebilecek sınır oranları göstermektedir. İki farklı il için ortak olarak en uygun 1'e 1,7 oranı kabul edilmiştir. Bu sayede iki farklı ilin karşılaştırıldığı durumlarda, karşılaştırılmanın daha az değişken üzerinden yapılarak, asıl gözlemlenmek istenen değişkenlerin etkisinin daha açık olarak değerlendirilebilmesi sağlanmıştır.

Binanın ilk kabullerinden birisi, dikdörgen biçimli olan binanın doğu batı doğrultusunda uzandığı ve uzun kenarının güneye bakmasıdır. Bu sayede iklimle dengeli bir tasarım olarak güney cephesinin özelliklerinden yararlanılabilecek ve çalışmanın değişkenleri ana yönlerdeki cepheler üzerinden açık bir şekilde tanımlanabilecektir.

Ofis binasının kısa kenarı 15,5m ve uzun kenarı 26,4m'dir. Zemin kat ile birlikte toplam 4 kattan oluşan ofis binasının tüm kat planları eştir. Her bir katın yüksekliği 3,6 m ve iç yüksekliği 3,2m'dir. Binanın yüksekliği 14,4 m'dir. Normal kat planının alanı brüt olarak 409m^2 ve toplam bina kullanım alanı 1636 m^2'dir. Binanın brüt hacmi 5892 m^3'tür. Simülasyon programında hesaplanan iklimlendirilen alan 1454m^2 ve iklimlendirilen hacim 5417m^3'tür. Şekil 4. 3'de tasarlanan ofis binasının normal kat planı gösterilmiştir.



Şekil 4. 3 Referans ofis binası normal kat planı

Bina kabuğu kesiti oluşturulurken TS825'de derece gün bölgeleri için önerilen U değerlerinin üst sınırı alınmıştır [38]. İstanbul'un içinde bulunduğu 2. derece gün bölgesinde dış duvarların U değeri (U_D) 0,6 W/m^2K, tavanın U değeri (U_T) 0,4 W/m^2K, zemine oturan tabanın U değeri (U_t) 0,6 W/m^2K, pencerenin U değeri (U_p) 2,4 W/m^2K'dir.

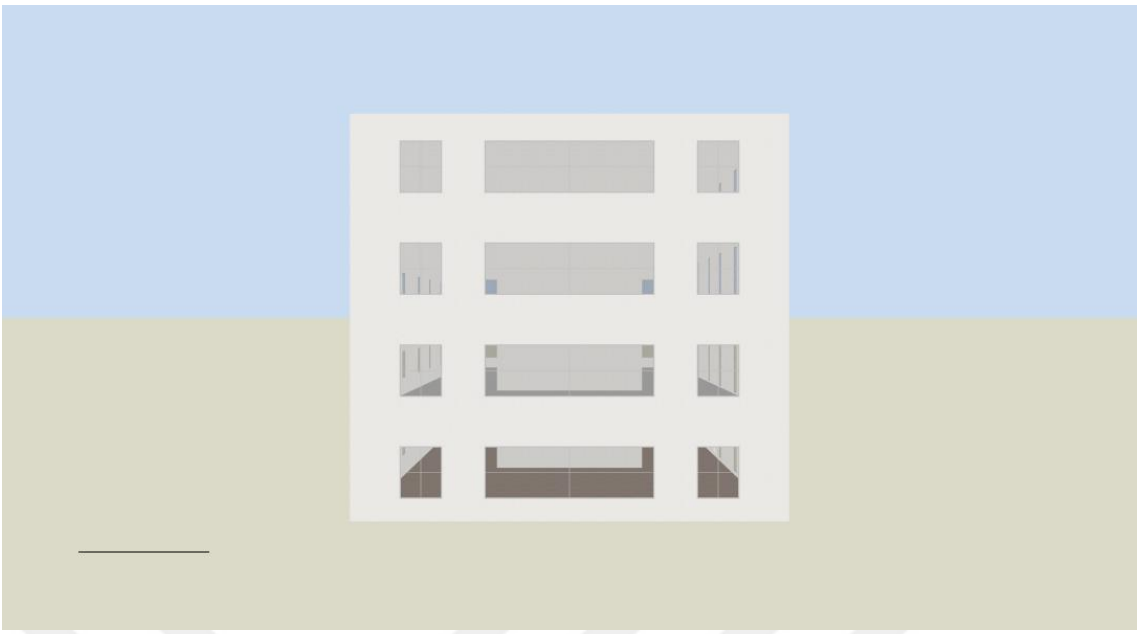
Saydamlık oranı olarak, Türkiye şartlarında genel olarak yönlere bağlı olarak önerilen saydamlık oranlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Araştırmalarda gün ışığı açısından en az %20 saydamlık oranı önerilmiştir. Bu durumda güney cephesinde %50, doğu ve batı cephelerinde %30 ve kuzey cephesinde %20 saydamlık oranı kullanılmıştır. Şekil 4. 4'de referans binanın ön (güney), yan (doğu/batı) ve arka (kuzey) cepheleri gösterilmiştir.



Şekil 4. 4 (a) Referans ofis binasının ön (güney) cephesi

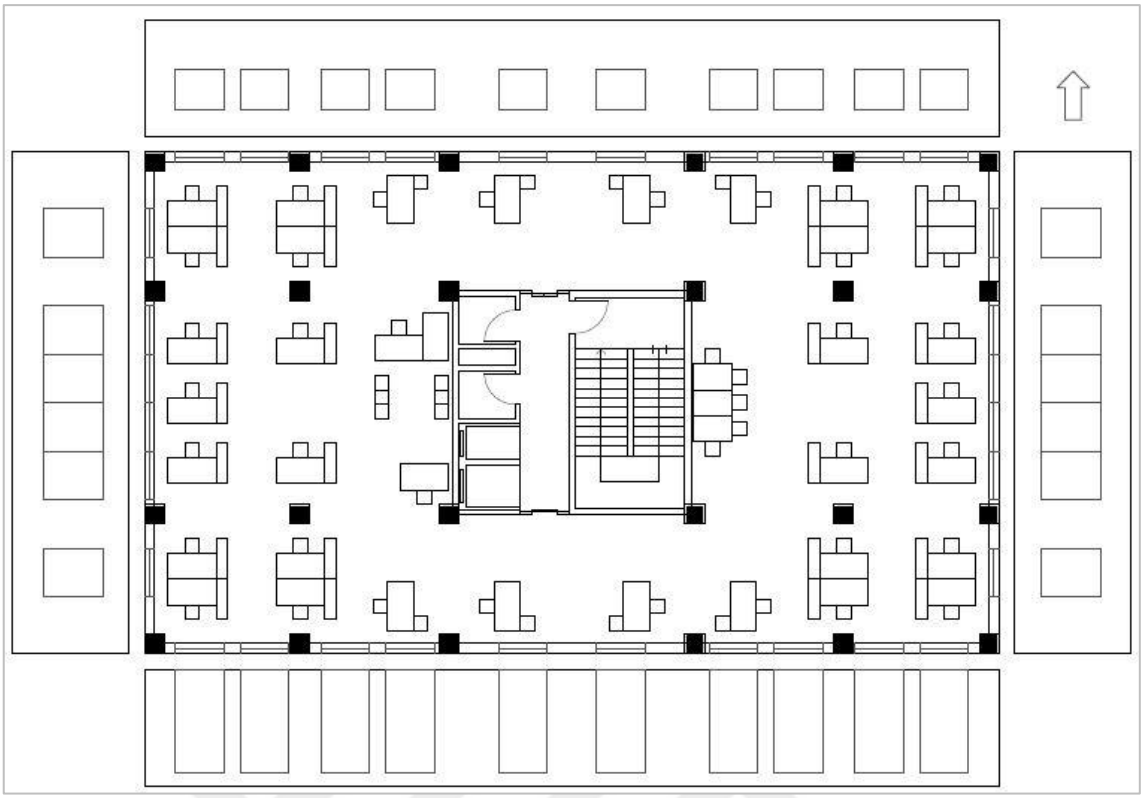


Şekil 4. 4 (b) Referans ofis binasının arka (kuzey) cephesi



Şekil 4. 4 (c) Referans ofis binasının yan (doğu/batı) cephesi

Karar verilen saydamlık oranının cephede saydam alanlar olarak dağılımı yapılırken iç mekanın tefrişiyle uyum gösteren bir düzenleme yapılmıştır. Bu durumda iç mekandaki tefriş düzenlemesinde çalışma masalarının yüzeyi yan tarafındaki duvarda oluşturulan saydam alanların doğrultusunda yer almaktadır. Bu sayede gün ışığından üst düzeyde yararlanılabilecektir. Şekil 4. 5'de tefrişli ofis normal kat planı ve cephelerdeki saydam alan düzenlemesinin ilişkisi gösterilmiştir. Güney cephesinde saydam alanlar, döşemeden tavanda kiriş hizasına kadar 3,2m yüksekliğinde ve 1,5m genişliğinde eş pencerelerden oluşmaktadır. Kuzey cephesinde ise güney cephesinden farklı olarak pencerelerin alt hizası çalışma düzlemi yüksekliği olan 0,8m'den başlamaktadır ve yükseklikleri 1,3m'dir. Saydamlık oranı azaltılırken bunun bir bölümünün çalışma düzleminin altında kalan alandan kesilmiş olması, çalışma düzlemi üzerinde günışığından yararlanma oranının daha az düşmesini sağlayacaktır. Doğu ve batı cepheleri ise yerden 0,8m yükseklikten başlayan, 1,5m genişliğinde ve 1,85m yüksekliğinde eş pencerelerden oluşmaktadır. Cephelerde saydam alanların dağılımı tefriş ilişkisi ve cephedeki taşıyıcı sistem dağılımı bir bütün olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4. 5 Tefrişli ofis normal kat planı ve cephelerdeki saydam yüzey düzenlemesinin ilişkisi

Sonuç olarak normal kat planı, birincil işlevdeki açık planlı ofis ve ikincil işlevli bay-bayan wc'ler, koridor, merdiven kovası, asansör boşlukları ve düşey tesisat şaftı mahallerinden oluşmaktadır.

Referans ofis binasının kullanım aralığı, Türkiye şartlarına uygun olarak başlangıç saati 8:30 bitiş saati 18:00 ve hafta içi günleri olarak kabul edilmiştir.

Referans ofis binasının, kullanılan simülasyon programında tanımlanması gereken etkinlik ile ilgili değişkenleri Çizelge 4. 1'de verilmiştir. Burada verilen değişkenler açık ofis mahalinin değişkenleridir. İkincil mahallerin (wc'ler, koridor vb.) etkinlik ile ilgili değişkenleri farklılık gösterebilir.

Bina konfor ayar sıcaklıkları, iklimle dengeli bir tasarımda kullanıcıların giyim değerlerinden de yararlanılacağı kabul edilerek ısıtma için en üst sınır 20°C ve soğutma için en alt sınır 26°C alınmıştır [48].

İç kazançlar bilgisayarlar ve ofis ekipmanları olarak ayrıştırılmış ve toplamda 10 W/m^2 alınmıştır [48].

Kullanıcı yoğunluğu hesabı yapılırken normal kat planındaki tefrişden yararlanılmıştır. Bir katdaki sabit çalışan sayısı 36 kişi ve geçici kullanıcı sayısı 14 kişi belirlenmiştir. 1409m^2 kat alanında kullanıcı yoğunluğu 0,12 olmaktadır.

Çizelge 4. 1 Simülasyon programında etkinlik değişkenleri ile ilgili yapılan seçimler

Etkinlik düzeneği:	Genel ofis alanı
Yoğunluk:	0,12 kişi/m^2
Metabolizma etkinliği: Etkinlik tipi Etkinlik değeri Giyim	 Hafif ofis işi, oturarak, yürüyerek 0,90 Kışın 1,00 clo, yazın 0,50 clo
Sıcak kullanım suyu tüketimi:	0,20 l/m^2-günlük (default)
Çevresel kontrol: Isıtma ayar sıcaklıkları Soğutma ayar sıcaklıkları En az temiz hava gereksinimi Havalandırma ayar sıcaklıkları (Doğal havalandırma, İç mekanda en az sıcaklık kontrolü)	 Isıtma 20°C, geri ısıtma 12°C Soğutma 26°C, geri soğutma 28°C 10 l/s-kişi 24°C
Aydınlatma gereksinimi:	400 lux
İç kazançlar:	10 W/m^2 (5 W/m^2 bilgisayarlar ve 5 W/m^2 ofis ekipmanları)

Açıklıklarda, saydam alanları oluşturan pencerelerin çerçeve bölümünün U değerleri cam bölümünün U değerine eş alınmıştır.

Aydınlatma düzeneği olarak LED kullanılmıştır. Aydınlatma aygıtı tavan yüzeyine gömme şeklinde kullanılmıştır. İç mekanda görsel konforu sağlayacak aydınlık düzeyinin oluşturulmasında, yapay aydınlatmanın gün ışığı ile desteklenmesi için kontrol sistemi açılmıştır. Çizgisel kontrol sistemine göre gün ışığının artan yada azalan miktarına bağlı olarak yapay aydınlatmanın miktarı azalıp artacaktır.

HVAC (Isıtma-havalandırma-İklimlendirme) sistem seçimleri Çizelge 4. 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2 Simülasyon programında HVAC değişkenleri ile ilgili yapılan seçimler

HVAC düzeneği:	FCU (4 borulu), Air cooled chiller
Mekanik havalandırma: Ekonomizör Isı geri kazanımı, türü	Açık Kapalı Açık, entalpi
Isıtma: Yakıt türü Isıtma sistemi mevsimlik CoP	Açık Doğalgaz 0,83
Soğutma: Yakıt türü Soğutma sistemi mevsimlik CoP	Açık Elektrik 1,67
Sıcak kullanım suyu: (wc'lerde) Türü Yakıt türü Sıcak kullanım suyu mevsimlik CoP Su ısıtma noktası	Açık Sadece anlık sıcak su Doğalgaz 0,85 55°C
Doğal havalandırma: Dış hava (ac/h) Dış hava sıcaklık limiti	Açık 1,50 Açık

Referans binanın kabullerinden bir diğeri ise ayrık nizamda, orta ölçekli binaların bulunduğu bir dış mekanda yer alması ve yapma çevre ve doğal çevreden gölge almamasıdır.

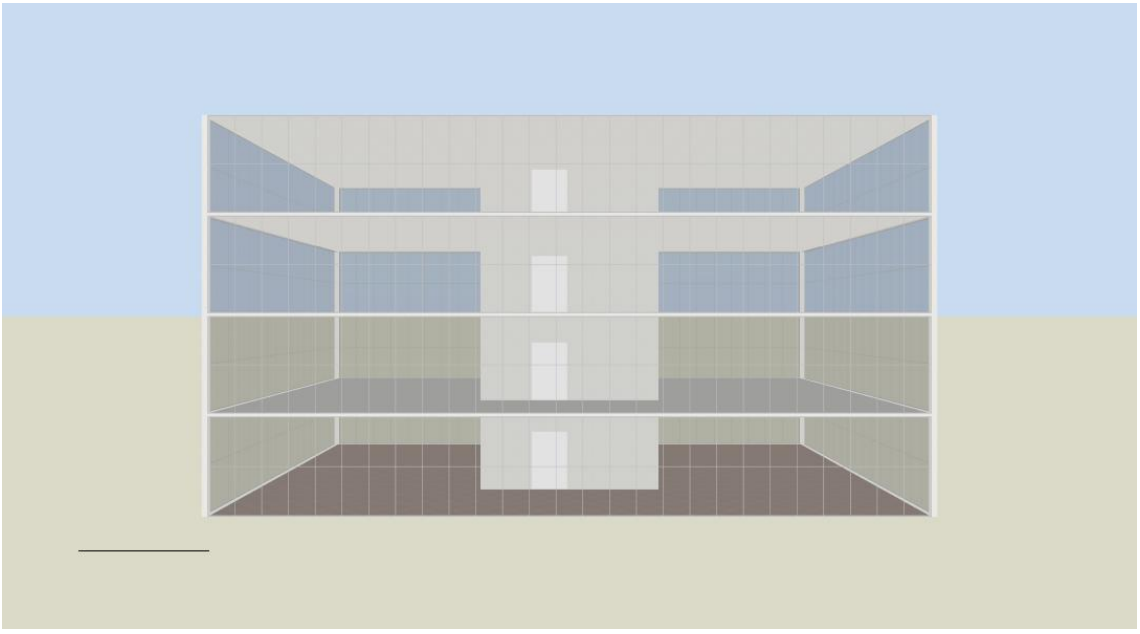
İstanbul için tasarlanan referans binanın konum, saatlik dilim, iklim verileri simülasyon programının bünyesinde bulunan İstanbul değerlerinden seçilmiştir.

Antalya için tasarlanan referans binanın İstanbul için tasarlanan referans binadan farkı, konum değerleri, iklim verileri ve TS 825'e göre 1. derece gün bölgesinde yer alması sebebiyle kesit U değerleridir. Antalya için kesit U değerleri [38], dış duvarların U değeri

(U_D) 0,6 W/m^{2}K, tavanın U değeri (U_T) 0,4 W/m^{2}K, zemine oturan tabanın U değeri (U_t) 0,6 W/m^{2}K, pencerenin U değeri (U_p) 2,4 W/m^{2}K'dir.

4.2.2.2 %100 Saydamlık Oranında Binanın Oluşturulması

%100 saydamlık oranındaki binada tek farklılık referans binada cephelere göre değişen, %50 ve altında olan saydamlık oranlarının tüm cepheler için dış duvarların kaldırılıp %100 yapılmasıdır. Şekil 4. 6'da %100 saydamlık oranındaki bina gösterilmiştir.



Şekil 4. 6 %100 saydamlık oranındaki bina

4.2.3 PV Sistem ile Bütünleşik Gölgeleme Elemanının Tasarlanması

Çalışma kapsamında binanın hesaplanan enerji yükünün tamamını veya belli bir kısmını karşılayan bir fotovoltaik sistem planlanması amaçlanmamıştır. Güneşin istenmediği dönemlerde ofis binasının güneşten korunmasını sağlayan gölgeleme elemanının aynı zamanda enerji üreterek binanın şebekeden aldığı enerji miktarını düşürmesine katkısı olması istenmiştir.

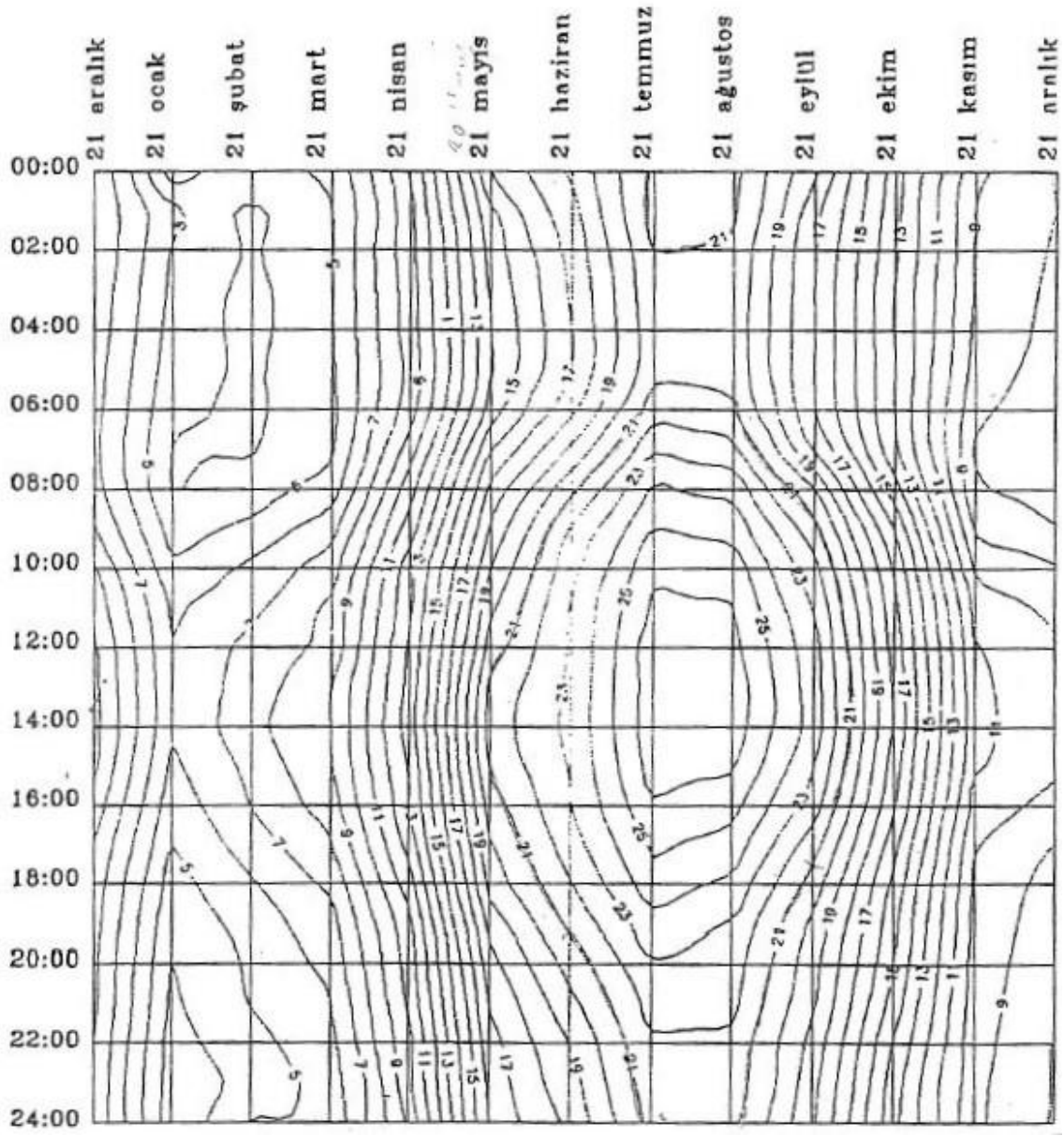
Bu çalışmada gölgeleme elemanı tasarımının öncelikli işlevi, binanın enerji performansına etkisinden dolayı ısıl denetimi sağlamaktır. Gölgeleme elemanının güneşten koruması istenen dönem belirlenmelidir. Isıl performansa katkısı adına güneşten korunmak istenen döneme uygun olarak tasarlanan gölgeleme elemanı, bu

dönemde kamaşma sorununun çözümüne de katkı sağlamış olacaktır. (Güneşten korunulmak istenen dönem belirlenirken güney cephesinde soğutma dönemi, doğu ve batı cephelerinde bina kullanım saatleri belirleyici olmuştur.)

4.2.3.1 PV Sistem ile Bütünleşik Yatay Gölgeleme Elemanı Tasarımı

İstanbul örneğinde PV sistem ile bütünleşik sabit yatay gölgeleme elemanı tasarımının aşamaları;

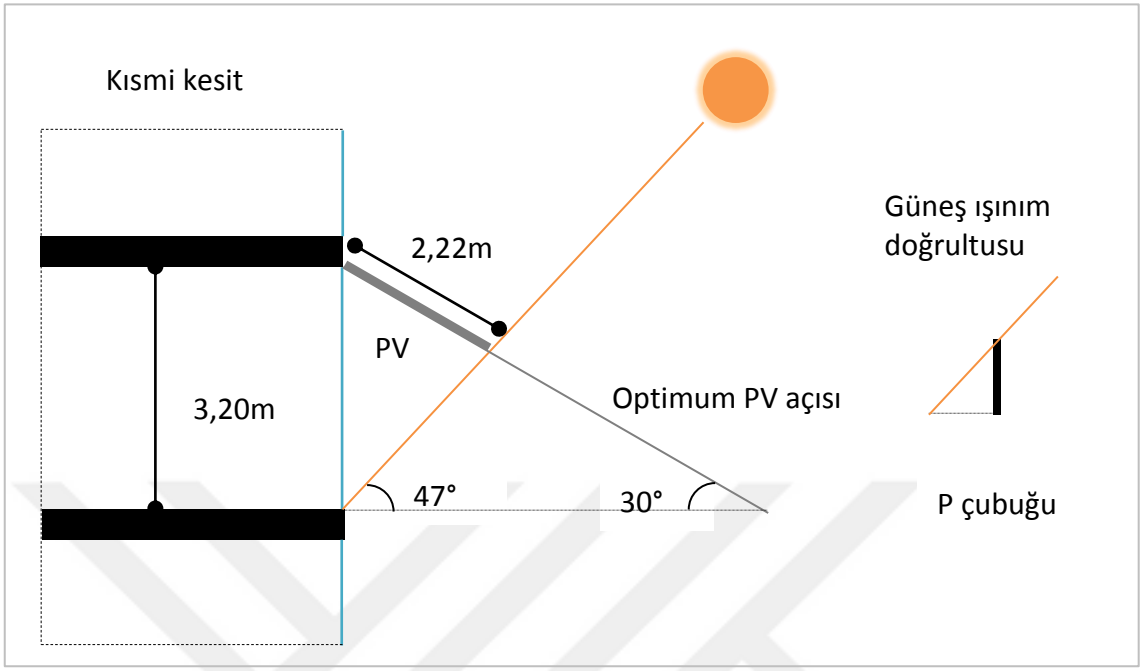
- İlk aşamada güney cephesindeki PV sistem ile bütünleşik yatay gölgeleme elemanı tasarımının optimum PV açısına karar verilmiştir. Güneye bakan PV sistem ile bütünleşik yatay gölgeleme elemanı tasarımında, gölgeleme elemanı etkinliğini sağlamak için kullanılabilecek başka değişkenler olduğundan yatay elemanın eğimi PV etkinliği tarafından belirlenmektedir. Tüm yıl boyunca PV etkinliğinden yararlanmak için optimum PV açısı 30° kabul edilmiştir [3],[7],[35].
- İkinci aşamada İstanbul için güneşten korunulması gereken dönem belirlenirken, Olgyay kardeşlerin çalışmasından yararlanılmıştır [8]. Olgyay kardeşler, soğutmanın istendiği dönem sınırını 40° enlemlerinde 70°F (21,1°C) olarak belirlemişlerdir. 40° enleminden ekvatora doğru her 5° enlem değişiminde bu alt sınır değere 0,75°F eklenir. Bu durumda İstanbul için gölgeleme elemanı kullanılmasına ihtiyaç duyulan sıcaklık değeri 21°C ve üstü kabul edilmiştir. İstanbul'da dış hava sıcaklığının 21°C'ı geçtiği dönemin saptanabilmesi için İstanbul iline ait dış hava sıcaklığı eğrilerinden yararlanılmıştır [49]. Bu eğrilerde yılın günlerine ve günün saatlerine bağlı olarak sıcaklık değerleri gösterilmektedir. İstanbul için güneşten korunma dönemi 1 haziran ile 1 ekim arasındaki dönem kabul edilmiştir. İstanbul iline ait dış hava sıcaklığı eğrileri Şekil 4. 7'de gösterilmiştir.



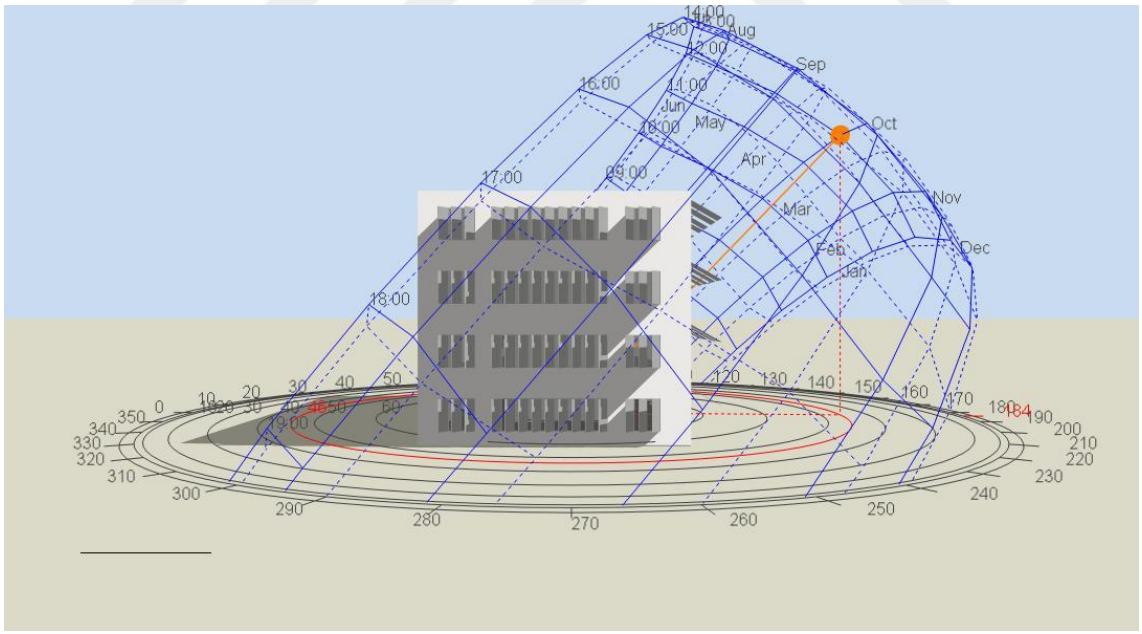
Şekil 4. 7 İstanbul iline ait dış hava sıcaklığı eğrileri [49]

- Üçüncü aşamada, konum bilgileri belirlenen PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının güneşten korunma istenen dönemde korunmayı sağlayacak ölçüleri belirlenmiştir. Ölçülendirme, güneşten korunma istenen dönemdeki karakteristik gün ve saate göre gölge eğrileri yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar Ek A. 1'de verilmiştir. Bu durumda yatay elemanın kendi düzleminde uzunluğu 2,22 m ve alanı 3,33m^2 olmuştur. Yatay eleman, iz düşüm olarak saydam yüzeyin yerden 2,10 m yükseklikten sonrasını örtmekte ve oturan veya ayaktaki bir kullanıcının göz hizasının üzerinde kalmaktadır. Karakteristik gün ve saatteki

güneşin konumuna göre yatay gölgeleme elemanının tasarlanma aşamaları Şekil 4. 8'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 8 İstanbul'da karakteristik gün ve saatteki güneşin konumuna göre yatay gölgeleme elemanının tasarlanma aşamaları



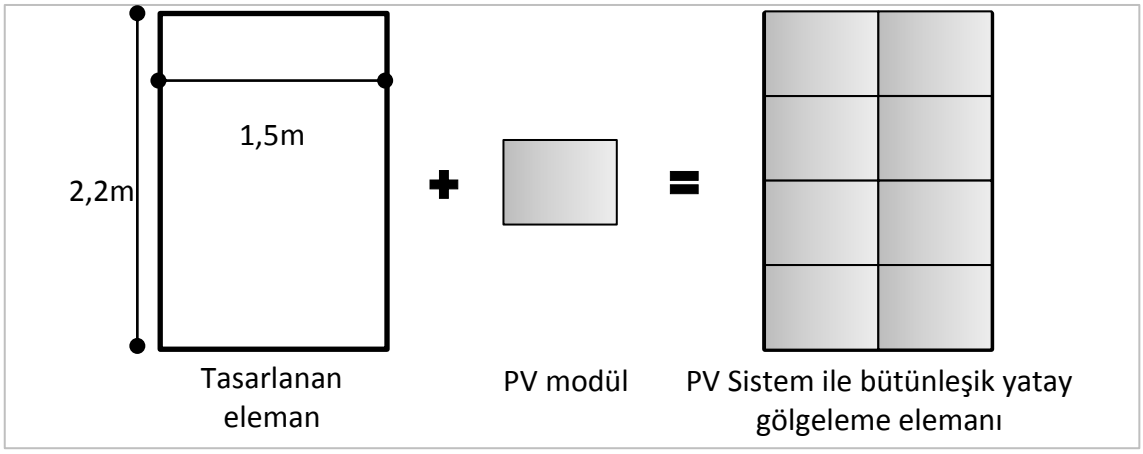
Şekil 4. 9 İstanbul'da karakteristik gün ve saatteki güneşin konumu ve yatay gölgeleme elemanı

- Dördüncü aşamada, PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımının görsel verimi hesaplanmıştır [8]. α_h: 47 ve β_h: 30 değerleri kullanılarak yapılan E_h

hesaplaması sonucunda görsel verimi %65 bulunmuştur. Sonuç %40'ın üzerinde yer alarak görsel verim için uygun kabul edilmiştir. E_h hesaplaması Ek A. 1'de verilmiştir.

- Beşinci aşamada boyutları belirlenen yatay elemanın PV sistem olarak üretimi kontrol edilir. Design Builder simülasyon programının PV kütüphanesindeki seçeneklerden yatay elemanın alanına uygun olan Shell ST40 PV modül tipi seçilmiştir. Program kapsamında sunulan PV modüllerin üretim boyutlarının yerine aktif alanı verilmiştir. Bu duruma uygun olarak alan hesabı üzerinden yerleştirme yapılmış ve 3,33m^2 yatay elemanın yüzeyini oluşturacak, 0,42m^2 alana sahip PV modüllerden 8 tane kullanılmıştır. Seri ve paralel bağlı PV modüllerden oluşan yatay elemanda 2 adet seri bağlı PV modül ve 4 adet paralel bağlı PV modül bulunmaktadır. Üretim boyutlarından dolayı PV modüllerle tamamlanamayan gölgeleme elemanı alanı farklı bir malzemeyle tamamlanabilir. Bu çalışma kapsamında, seçilen PV modül tipinin standart üretim boyutları haricinde tasarıma uygun olarak özel üretimi yapıldığı varsayılabilir. Şekil 4. 10'da yatay elemanın PV modüllerden oluşturulması gösterilmiştir. Yapılan PV modül tipi seçiminin özellikleri Çizelge 4. 3'de gösterilmiştir.

şeklindedir.



Şekil 4. 10 İstanbul'daki referans binada yatay eleman ile PV modül ilişkisi

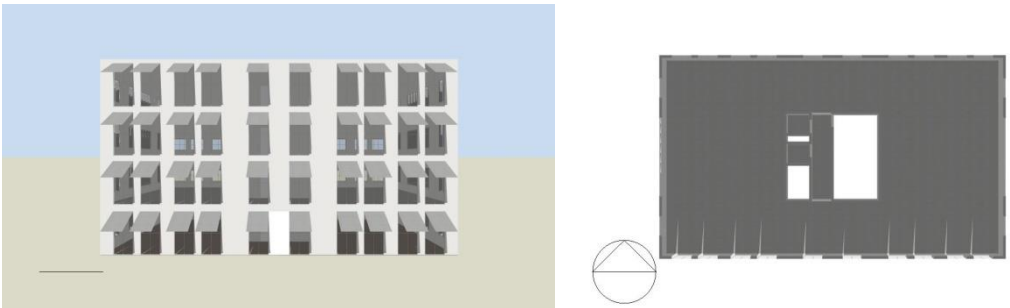
Çizelge 4. 3 (a) Shell ST40 PV tipinin genel özellikleri [42], [43]

Genel bilgiler	Shell ST40
Hücre tipi	Kristalize Silikon
Seri bağlı hücre sayısı	36
Aktif alan (m^2)	0.42
Geçirgenlik soğurma sonucu	0,90
Yarıiletken bant aralığı (eV)	1,12
Paralel bağlı direnç (ohms)	1000000,00
Referans sıcaklık (°C)	25,00
Referans güneş alımı (W/m^2)	1000,00
Modül ısı kayıp katsayısı (W/m^2-K)	30,00
Toplam ısı kapasitesi (J/m^2-K)	50000,00
Elektrik güç çıkış puanı (W)	48000,00

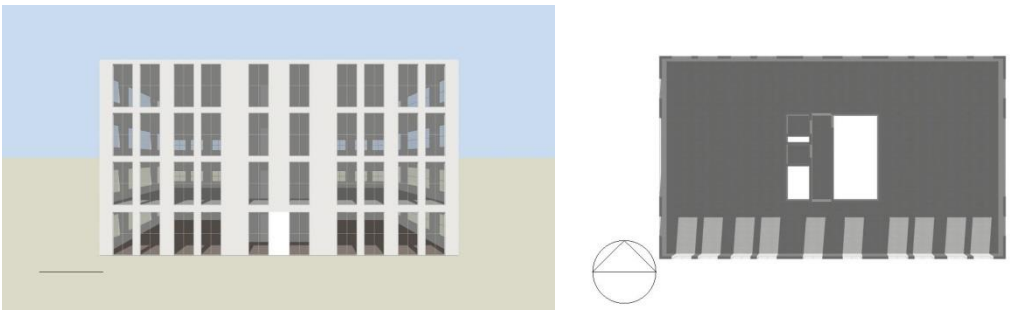
Çizelge 4. 3 (b) Shell ST40 PV tipinin akım, voltaj ve NOCT özellikleri [42], [43]

Akım	
Kısa devre akımı (A)	2,68
Tavan güçte modül akımı (A)	2,41
Kısa devre akımının sıcaklık katsayısı (A/K)	0,00035
Voltaj	
Açık devre voltajı (V)	23,30
Tavan güçte modül voltajı (V/K)	16,60
Açık devre voltajının sıcaklık katsayısı (°C)	-0,10
NOCT (nominal hücre çalışma sıcaklığı)	
NOCT ambient sıcaklığı (°C)	20,00
NOCT hücre sıcaklığı (°C)	47,00
NOCT güneşlenme (W/m^2)	800

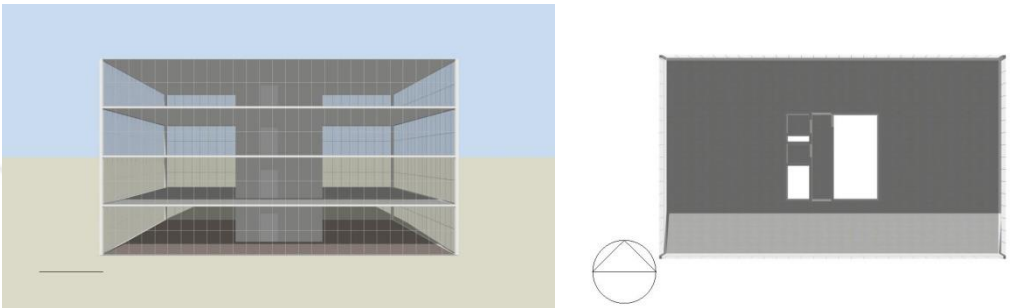
Güney cephede tasarlanan yatay gölgeleme elemanının, binayı doğrultulu güneş ışınımlarından koruması, hiç gölgeleme elemanının olmadığı referans bina ve %100 saydamlık oranındaki bina ile karşılaştırılarak Şekil 4. 11'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 11 (a) 1 ekim saat 12:00'de İstanbul'daki yatay gölgeleme elemanlı referans binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ)



Şekil 4. 11 (b) 1 ekim saat 12:00'de İstanbul'daki referans binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ)

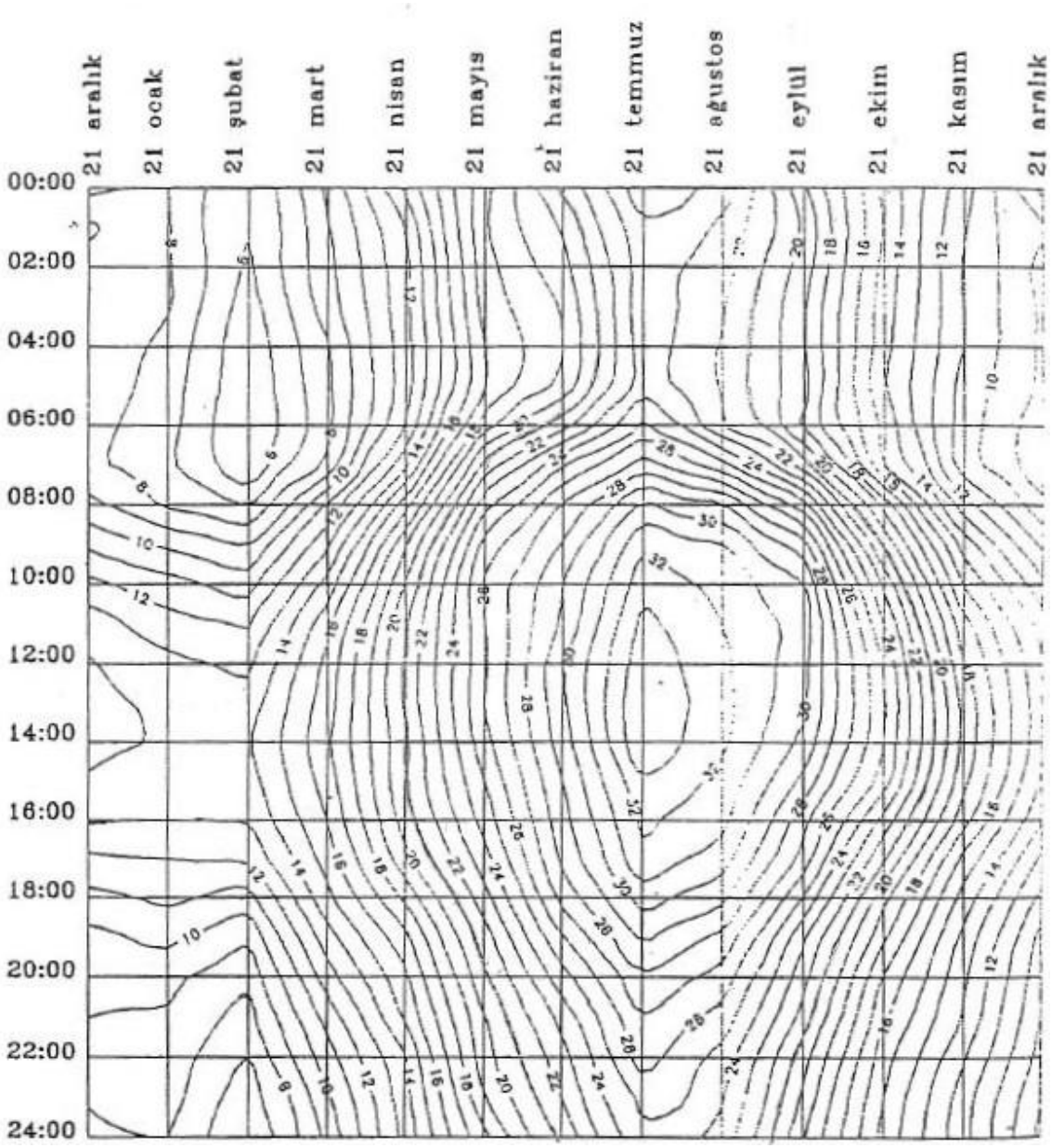


Şekil 4. 11 (c) 1 ekim saat 12:00'de İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ)

Antalya için oluşturulan referans binanın PV sistem ile bütünleşik yatay ve düşey gölgeleme elemanı tasarımları İstanbul örneği ile arasındaki farklar üzerinden anlatılmıştır.

Antalya örneğinde PV sistem ile bütünleşik sabit yatay gölgeleme elemanı tasarımının aşamaları;

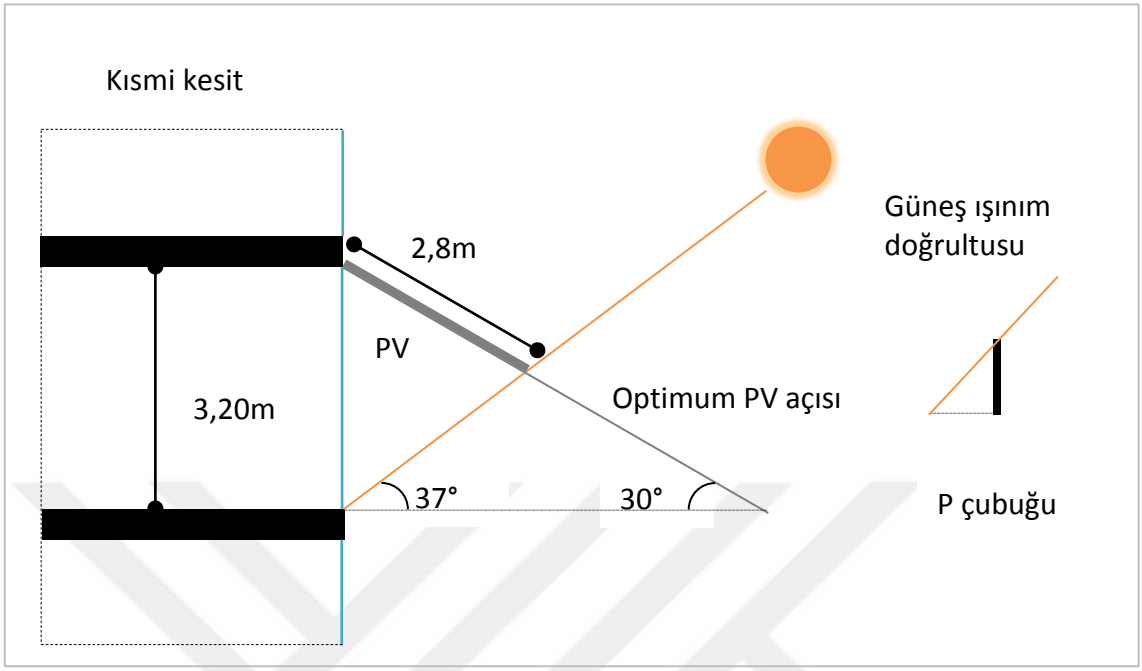
- Antalya için optimum PV açısı Türkiye için optimum eğim açısı olarak kabul edilen 30°'dir.
- İkinci aşamada Antalya için güneşten korunulması gereken dönem, Olgyay kardeşlerin 35° ile 40° enlemleri için belirlediği soğutma dönem sınırı olan 21°C'ye göre belirlenmiştir. Antalya için gölgeleme elemanının kullanılmasına ihtiyaç duyulan sıcaklık değeri 21°C ve üstü kabul edilmiştir. Antalya'da dış hava sıcaklığının 21°C'ı geçtiği dönemin saptanabilmesi için Antalya iline ait dış hava sıcaklığı eğrilerinden yararlanılmıştır [49]. Antalya için güneşten korunma dönemi 1 mayıs ile 1 kasım arasındaki dönem kabul edilmiştir. Antalya iline ait dış hava sıcaklığı eğrileri Şekil 4. 12'de gösterilmiştir.



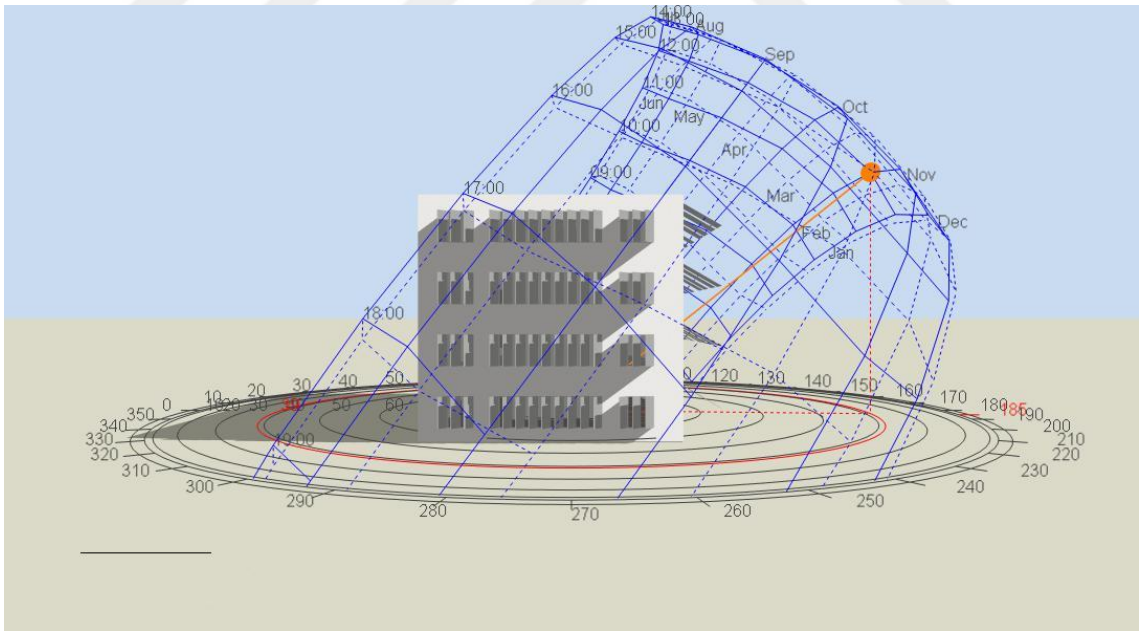
Şekil 4. 12 Antalya iline ait dış hava sıcaklığı eğrileri [49]

- Üçüncü aşamada, konum bilgileri belirlenen PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının güneşten korunma istenen dönemde korunmayı sağlayacak ölçüleri belirlenmiştir. Ölçülendirme güneşten korunma istenen dönemdeki karakteristik gün ve saate göre gölge eğrileri yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar Ek A. 2'de verilmiştir. Bu durumda yatay elemanın kendi düzleminde uzunluğu 2,80 m ve alanı 4,20m^2 olmuştur. Yatay eleman, iz düşüm olarak saydam yüzeyin yerden 1,81 m yükseklikten sonrasını örtmekte ve oturan veya ayaktaki bir kullanıcının göz hizasının üzerinde kalmaktadır. Karakteristik gün ve saatteki

güneşin konumuna göre yatay gölgeleme elemanının tasarlanma aşamaları Şekil 4. 13'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 13 Antalya'da karakteristik gün ve saatteki güneşin konumuna göre yatay gölgeleme elemanının tasarlanma aşamaları

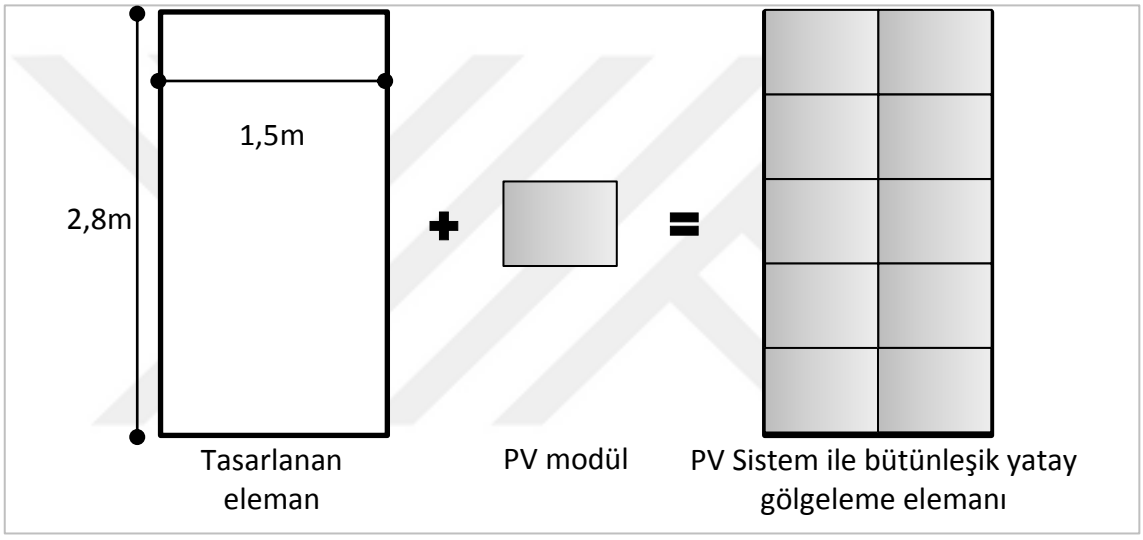


Şekil 4. 14 Antalya'da karakteristik gün ve saatteki güneşin konumu ve yatay gölgeleme elemanı

- Dördüncü aşamada, PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımının görsel verimi hesaplanmıştır [8]. α_h: 37 ve β_h: 30 değerleri kullanılarak yapılan E_h

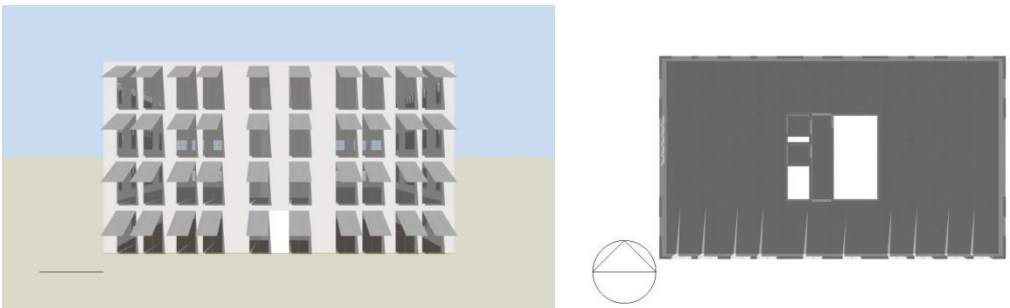
hesaplaması sonucunda görsel verim değeri %56 bulunmuştur. Sonuç %40'ın üzerinde yer alarak görsel verim için uygun kabul edilmiştir.

- Beşinci aşamada, hem yatay elemanın alanına uygun olan hem de İstanbul örneği ile karşılaştırma yapılabilmesi için Shell ST40 PV tipi seçilmiştir. Alan hesabı üzerinden yerleştirme yapılmış ve 4,20m^2 yatay elemanın yüzeyini oluşturacak, 0,42m^2 alana sahip PV modüllerden 10 tane kullanılmıştır. Seri ve paralel bağlı PV modüllerden oluşan yatay elemanda, 2 adet seri bağlı PV modül ve 5 adet paralel bağlı PV modül bulunmaktadır. Şekil 4. 15'de yatay elemanın PV modüllerden oluşturulması gösterilmiştir.

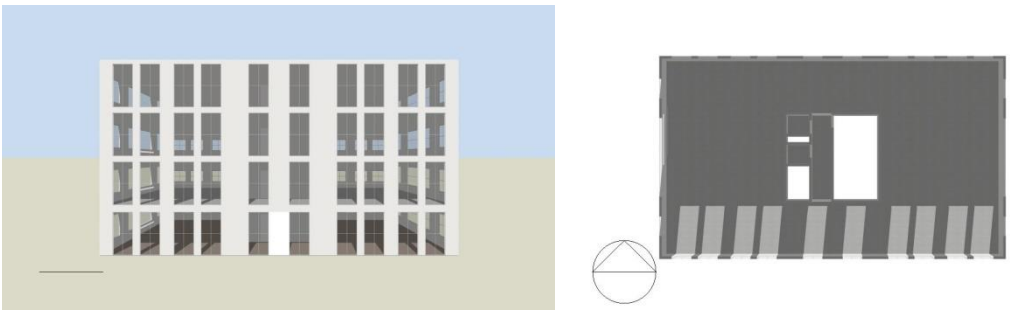


Şekil 4. 15 Antalya'daki referans binada yatay eleman ile PV modül ilişkisi

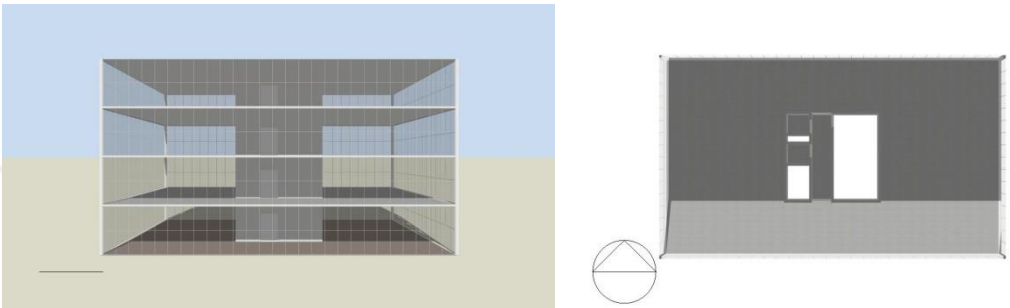
Güney cephesinde tasarlanan yatay gölgeleme elemanının, binayı doğrultulu güneş ışınımlarından koruması, hiç gölgeleme elemanının olmadığı referans bina ve %100 saydamlık oranındaki bina ile karşılaştırılarak Şekil 4. 16'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 16 (a) 1 kasım saat 12:00'de Antalya'daki yatay gölgeleme elemanlı referans binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ)



Şekil 4. 16 (b) 1 kasım saat 12:00'de Antalya'daki referans binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ)



Şekil 4. 16 (c) 1 kasım saat 12:00'de Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın güney cephesi (sol) ve planı (sağ)

4.2.3.2 PV Sistem ile Bütünleşik Düşey Gölgeleme Elemanı Tasarımı

İstanbul örneğinde PV sistem ile bütünleşik sabit düşey gölgeleme elemanı tasarımının aşamaları;

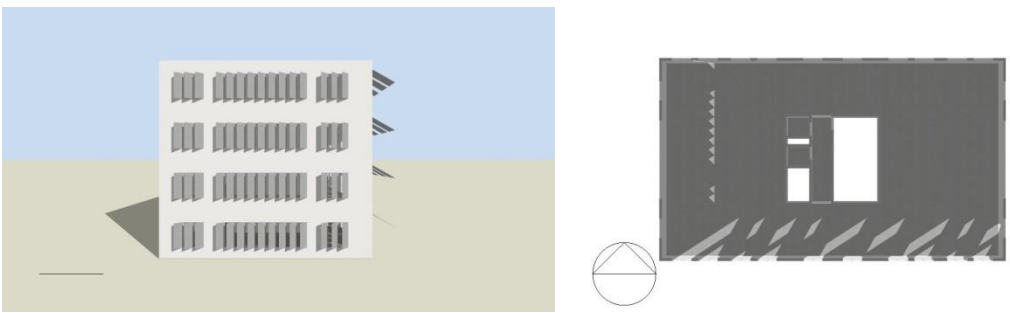
- İlk aşamada batı ve doğu cephelerinde güneşten korunmanın istendiği saatler belirlenmelidir. Gölgeleme elemanının güneşten koruması beklenen aralık, doğu cephesinde sabah çalışma başlangıç saati 8:30'dan öğleye kadar, batı cephesinde ise öğleden akşam çalışma bitiş saati 18:00'e kadardır.
- İkinci aşamada düşey gölgeleme elemanı tasarım değişkenleri olan w_v, d_v ve β_v değişkenlerinin farklı değerleri ile oluşturulan seçeneklerin etkinlikleri gölge eğrileri üzerinde karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiştir. Bu aşamada, belirlenen değişkenler üzerinden tasarım yapılmasının yanında farklı boyutlardaki saydam alanların genişliklerine bağlı olarak tüm saydam alanları kapsayan ve eş düşey elemanlardan oluşan bir tasarım oluşturulması hedeflenmiştir. Ek A. 2'de karar verme aşaması açıklanmıştır. Doğuda +45° açısı batıda ise -45° açısı güneşten

korunulması istenen saatlerde bu cephelerde en iyi performans gösteren açılar olarak belirlenmiştir.

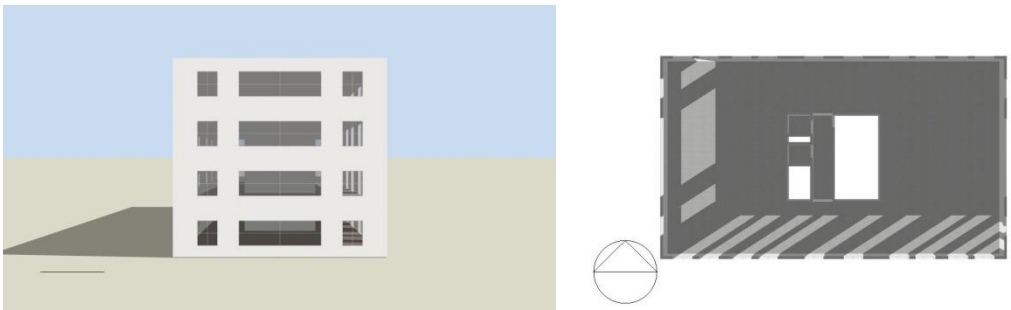
- Üçüncü aşamada ise bir önceki aşamada belirlenen tasarım, görsel verim açısından değerlendirilmiştir. w/d oranı 1,4/1 olan ilk tasarımın yapılan hesaplamaya göre görsel verimi E_v %1 bulunmuştur. Oldukça düşük bir görsel verim değeri elde edilmesi üzerine w/d oranı üzerinden yeni tasarım seçenekleri oluşturulmuştur. Yeni seçeneklerin oluşturulması ve seçenekler arasından seçim yapılması Ek A. 2'de açıklanmıştır. Sonuç olarak hem güneş etkinliği hem de görsel etkinlik açısından doğuda +45° açısında ve w/d oranı 1/1 olan seçenek, batıda ise -45° açısında ve w/d oranı 1/1 olan seçenek seçilmiştir. Bu durumda E_v %29 değerine yükseltilmiştir. d'nin 0,75m seçilen değerine karşılık w 0,75m olmuştur. Düşey elemanların uzunluğu ise pencere uzunluğuna eşit olacak şekilde 1,85m'dir. Her bir düşey elemanın alanı 1,39m^{2}'dir.

  Görsel verim değişkeniyle birlikte yapılan optimizasyon sonucu tasarım, doğu ve batı cephesinde güneşten korunmanın istendiği çalışma saatlerinin tamamını içine alamamıştır. Bu durumda batı cephesindeki gölgeleme elemanı 21 haziranda saat 14:15'den sonra 21 aralıkta ise saat 16:45'den sonra doğrultulu güneş ışınımlarını almaya başlayacaktır. Doğu cephesinde ise gölgeleme elemanı 21 haziranda saat 09:45'e kadar doğrultulu güneş ışınımlarını alacak 21 aralıkta ise hiç doğrultulu güneş ışınımı almayacaktır.

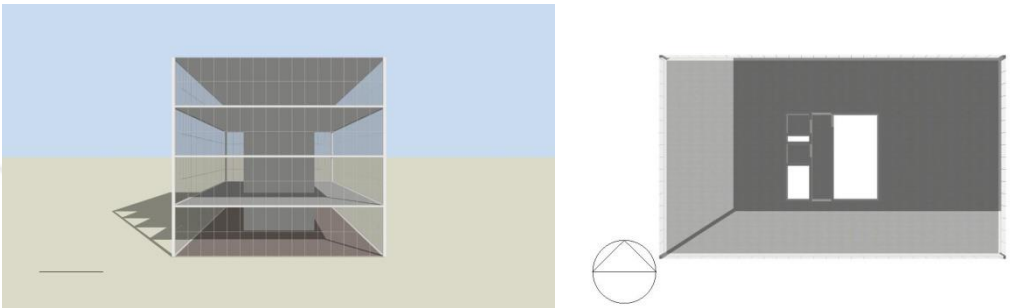
Batı cephesinde tasarlanan düşey gölgeleme elemanının binayı doğrultulu güneş ışınımlarından koruması, hiç gölgeleme elemanının olmadığı referans bina ve %100 saydamlık oranındaki bina ile karşılaştırılarak Şekil 4. 17'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 17 (a) 1 ekim saat 15:00'de İstanbul'daki düşey gölgeleme elemanlı referans binanın batı cephesi (sol) ve planı (sağ)



Şekil 4. 17 (b) 1 ekim saat 15:00'de İstanbul'daki referans binanın batı cephesi (sol) ve planı (sağ)

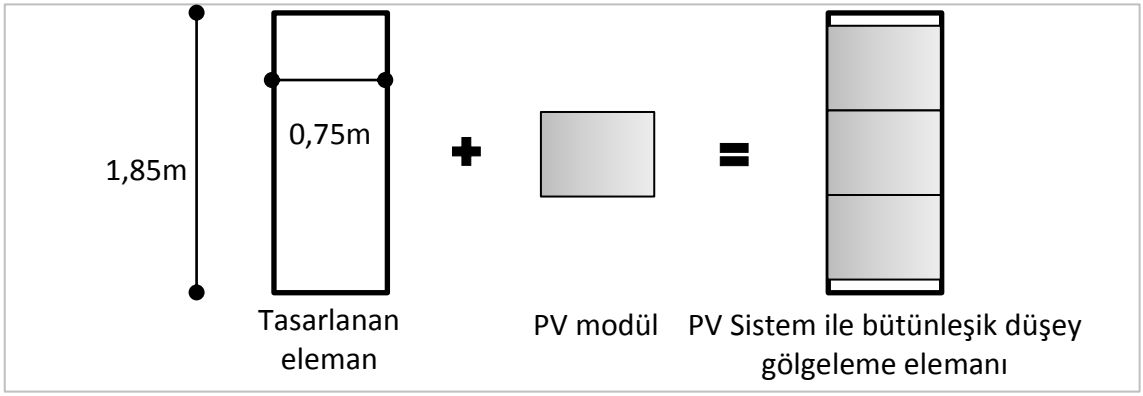


Şekil 4. 17 (c) 1 ekim saat 15:00'de İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın batı cephesi (sol) ve planı (sağ)

- Dördüncü aşamada bir önceki aşamayla bağlantılı olarak, w/d oranının 1,4/1 oranından 1/1 oranına ulaşılması her bir düşey elemanın birbirlerine gölge atma olasılıklarını da azaltmış olacak bu sayede PV sistem açısından PV sistem performansı artacaktır.

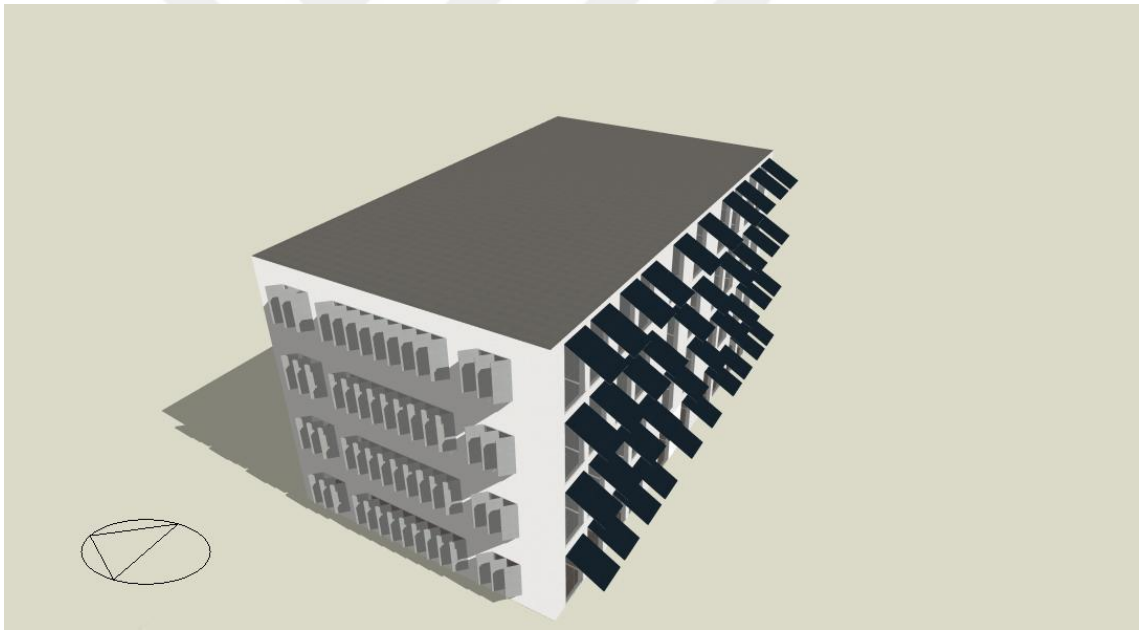
- Beşinci ve son aşamada ise verilen tasarım kararı sonucunda oluşan düşey eleman boyutlarının PV sistem üretim boyutlarıyla uygunluğunun denetlenmesidir. Design Builder kütüphanesinde bulunan PV modül tiplerinden Shell ST40 modelinin yatay gölgeleme elemanlarında kullanılmasından dolayı burada da aynı PV modül tipi kullanılmıştır. 1,39m^2 düşey eleman alanının olabildiğince tamamının PV modüllerden oluşmasını sağlamak ve binanın tamamında aynı PV modül tipini kullanabilmek için bu PV modül tipi seçilmiştir. Tasarımın başlangıcında hem yatay hem de düşey PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımları eşzamanlı yürütülerek her iki sistem için ortak PV modül tipine karar verilebilmiştir. 0,42m^2 alana sahip Shell ST40 PV modül tipinden 3 adet paralel bağlı olarak kullanılmıştır.

Şekil 4. 18'de tasarlanan düşey elemanın PV modüllerle oluşturulması gösterilmiştir.



Şekil 4. 18 İstanbul'daki referans binada düşey eleman ile PV modül ilişkisi

Şekil 4. 19'da İstanbul'daki referans bina üzerinde PV sistemle bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımı gösterilmiştir.



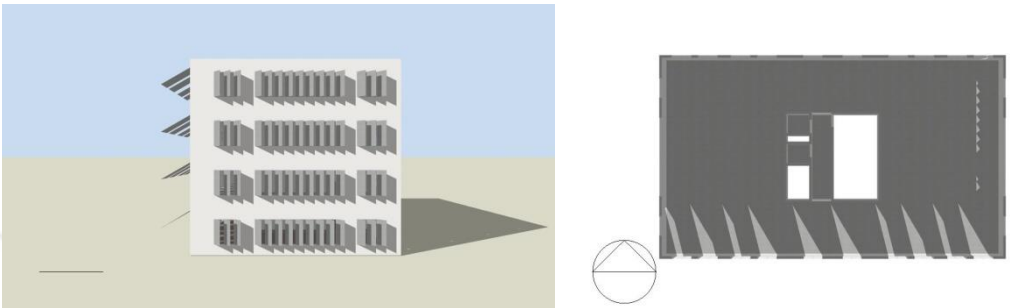
Şekil 4. 19 İstanbul'daki referans bina üzerinde PV sistemle bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımı perspektif görüntüsü

Antalya örneğinde PV sistem ile bütünleşik sabit düşey gölgeleme elemanı tasarımının aşamaları;

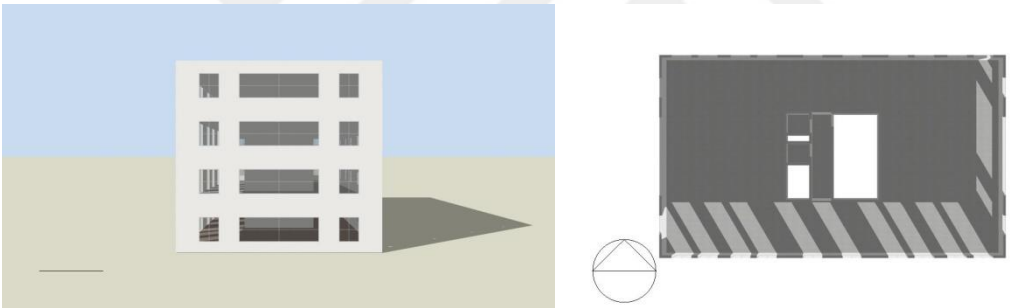
- Antalya örneğinde PV sistem ile bütünleşik düşey gölgeleme elemanı tasarımı ile İstanbul örneğindeki tasarım arasında fark yoktur. Bunun sebebi güneşten korunma istenen saatlerin ve kullanılan gölge eğrilerinin aynı olmasıdır. Ortak

olarak 39. enleme ait gölge eğrilerinin kullanılmasının nedeni bölüm 2.2.5 gölge eğrileri'nde açıklanmıştır. Çalışmada pratiklik sağlayacağı düşünülerek bu çalışma kapsamında, yaklaşıklık açısından bu durum kabul edilmiştir.

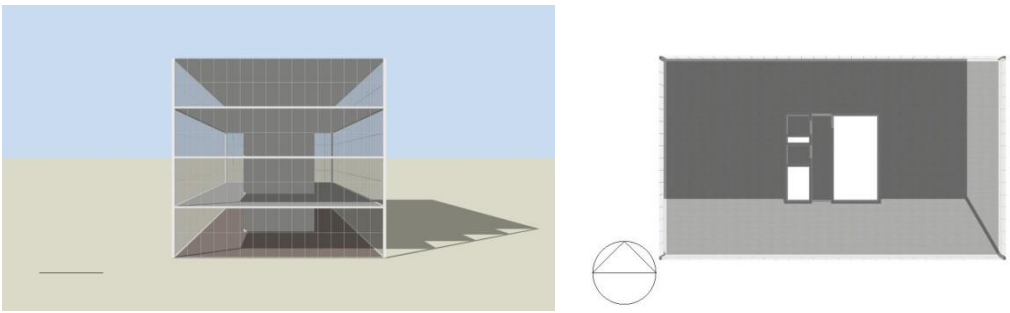
Doğu cephesinde tasarlanan düşey gölgeleme elemanlarının, binayı doğrultulu güneş ışınımlarından koruması, hiç gölgeleme elemanının olmadığı referans bina ve %100 saydamlık oranındaki bina ile karşılaştırılarak Şekil 4. 20'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 20 (a) 1 kasım saat 10:00'da Antalya'daki düşey gölgeleme elemanlı referans binanın doğu cephesi (sol) ve planı (sağ)

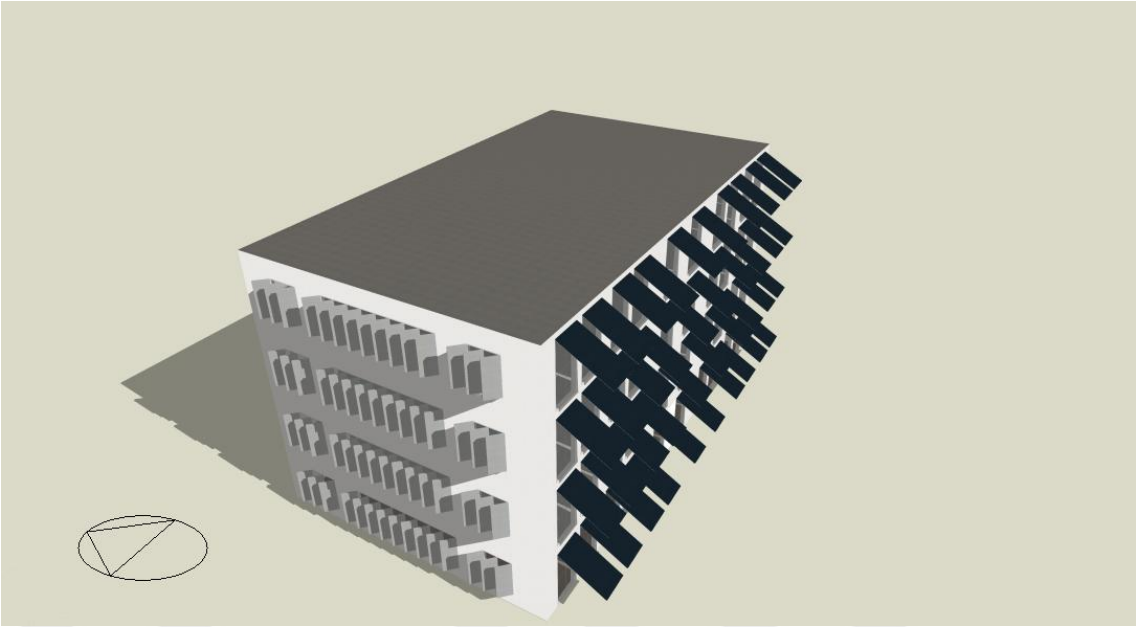


Şekil 4. 20 (b) 1 kasım saat 10:00'da Antalya'daki referans binanın doğu cephesi (sol) ve planı (sağ)



Şekil 4. 20 (c) 1 kasım saat 10:00'da Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın doğu cephesi (sol) ve planı (sağ)

Şekil 4. 21'de Antalya'daki referans bina üzerinde PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 4. 21 Antalya'daki referans bina üzerinde PV sistemle bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımı perspektif görüntüsü

4.2.4 Enerji Performans Analizlerinin Yapılması ve Değerlendirilmesi

Simülasyon programında hesaplatılan süre 8760 saattir (1 yıl). Tez kapsamında kullanılan simülasyon programı Design Builder, enerji tüketim değerlerini hesaplamanın yanında eğer enerji üretimi yapan bir sistem varsa enerji üretim değerlerini de hesaplayarak vermektedir.

Design builder enerji performans çıktılarındaki total (toplam) enerji, binanın farklı enerji tüketim sistemlerinde tükettiği enerjinin toplamını ifade eden enerji değeridir. Net enerji, binada enerji üreten bir sistem varsa toplam tüketilen enerji miktarından üretilen enerji miktarının çıkartılmasıyla elde edilen enerji değeridir.

Enerji performans çıktılarında source ve site enerji kategorileri bulunmaktadır. Source (kaynak) enerji birincil enerjidir ve hiçbir dönüşümden geçmemiş enerjidir. Doğalgaz, kömür gibi hammadde kaynakları birincil enerjiyi örnektir. Source enerji çevresel performans konularında yararlanılan bir değerdir. Site enerji ikincil enerjidir ve birincil enerjinin değişikliğe uğramış halidir. Elektrik enerjisi herhangi bir birincil enerji kaynağından dönüştürülerek elde edildiği durumda ikincil enerjiye örnektir. İkincil enerji, dönüşüm ve dağıtım kayıplarını içerir. Bir binanın kullandığı enerji site enerjidir. Site enerji doğrudan ölçülebilen enerjidir. Site ve source enerjiler karşılaştırılabilir

değildir. Karşılaştırma yapabilmek için dönüşüm katsayıları uygulanır. [50], [51], [52] Tez çalışması kapsamında binanın enerji performansı site enerji üzerinden analiz edilmiştir.

Çıktılarda enerji performansının bir diğer değerlendirilme biçimi, toplam enerji(kWh), tüm bina alanı başına enerji (kWh/m^2) ve iklimlendirilen bina alanı başına enerji (kWh/m^2) şeklindedir. Bina mahallerinin hepsinde enerji tüketimi olacağı öngörüldüğünden tüm bina alanı başına enerji (kWh/m^2) üzerinden değerlendirilme yapılmıştır.

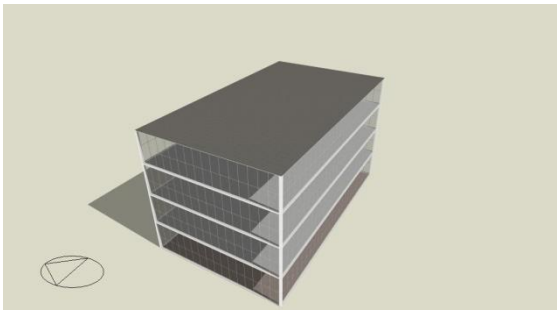
Net site enerji ve tüm bina alanı başına enerji (kWh/m^2) şeklindeki enerji performans sonuçları, binanın m^2 başına şebekeden kullandığı net enerji tüketimini verecektir.

Bina enerji performası değerleri farklı iller ve illerin farklı bina senaryoları üzerinden verilmiştir.

(Enerji performans analizi tez çalışması kapsamında oluşturulan farklı senaryoların enerji performanslarının birbirleriyle karşılaştırılması üzerinden yapılmıştır.)

4.2.4.1 %100 Saydamlık Oranındaki Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması

- İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın enerji yükleri:



Şekil 4. 22 İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın perspektif görüntüsü

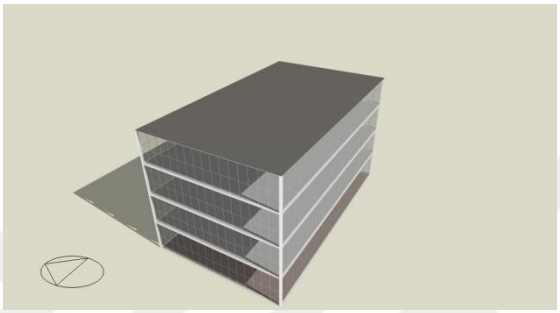
%100 saydamlık oranındaki binanın m^2 başına net enerji tüketimi 195,43 kWh hesaplanmıştır.

%100 saydamlık oranındaki binada herhangi bir enerji üretimi olmadığı için net enerji tüketimi toplam enerji tüketimine eşittir. Kategorilere göre binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi Çizelge 4. 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4 Kategorilere göre İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi

m^2 başına enerji tüketimi	195,43 kWh/m^2
Aydınlatma	7,61 kWh/m^2
HVAC	153,15 kWh/m^2
Diğer	34,66 kWh/m^2

- Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın enerji yükleri:



Şekil 4. 23 Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın perspektif görüntüsü

%100 saydamlık oranındaki binanın m^2 başına net enerji tüketimi 212,05 kWh hesaplanmıştır.

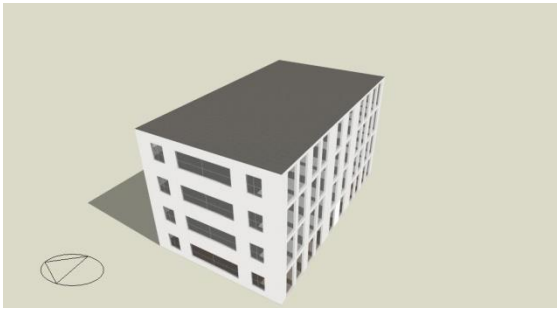
%100 saydamlık oranındaki binada herhangi bir enerji üretimi olmadığı için net enerji tüketimi toplam enerji tüketimine eşittir. Kategorilere göre binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi Çizelge 4. 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5 Kategorilere göre Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi

m^2 başına enerji tüketimi	212,05 kWh/m^2
Aydınlatma	6,99 kWh/m^2
HVAC	170,51 kWh/m^2
Diğer	34,55 kWh/m^2

4.2.4.2 Referans Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması

- İstanbul'daki referans binanın enerji yükleri:



Şekil 4. 24 İstanbul'daki referans binanın perspektif görüntüsü

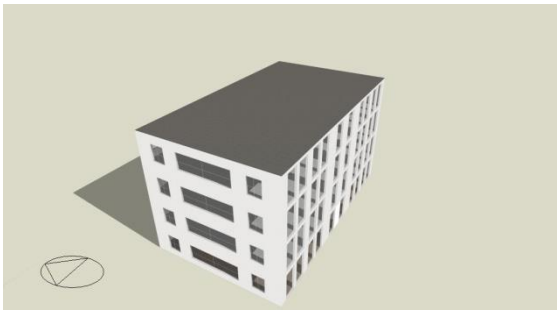
Referans binanın m^2 başına net enerji tüketimi 123,57 kWh hesaplanmıştır.

Referans binada herhangi bir enerji üretimi olmadığı için net enerji tüketimi toplam enerji tüketimine eşittir. Kategorilere göre binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi Çizelge 4. 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 6 Kategorilere göre İstanbul'daki referans binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi

m^2 başına enerji tüketimi	123,57 kWh/m^2
Aydınlatma	8,44 kWh/m^2
HVAC	80,46 kWh/m^2
Diğer	34,66 kWh/m^2

- Antalya'daki referans binanın enerji yükleri:



Şekil 4. 25 Antalya'daki referans binanın perspektif görüntüsü

Referans binanın m^2 başına net enerji tüketimi 131,30 kWh hesaplanmıştır.

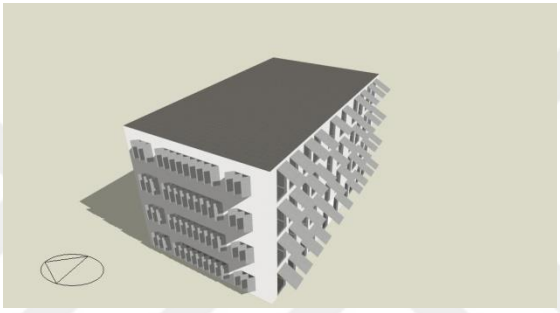
Referans binada herhangi bir enerji üretimi olmadığı için net enerji tüketimi toplam enerji tüketimine eşittir. Kategorilere göre binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi Çizelge 4. 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 7 Kategorilere göre Antalya'daki referans binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi

m^2 başına enerji tüketimi	131,30 kWh/m^2
Aydınlatma	7,31 kWh/m^2
HVAC	89,43 kWh/m^2
Diğer	34,55 kWh/m^2

4.2.4.3 Gölgeleme Elemanlarının Kullanıldığı Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması

- İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın enerji yükleri:



Şekil 4. 26 İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın perspektif görüntüsü

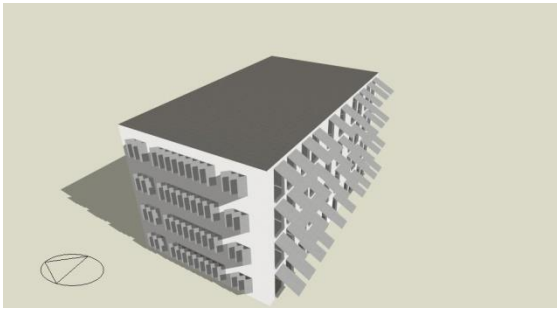
Gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın m^2 başına net enerji tüketimi 107,28 kWh hesaplanmıştır.

Gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binada herhangi bir enerji üretimi olmadığı için net enerji tüketimi toplam enerji tüketimine eşittir. Kategorilere göre binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi Çizelge 4. 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 8 Kategorilere göre İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi

m^2 başına enerji tüketimi	107,28 kWh/m^2
Aydınlatma	10,00 kWh/m^2
HVAC	62,63 kWh/m^2
Diğer	34,66 kWh/m^2

- Antalya'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın enerji yükleri:



Şekil 4. 27 Antalya'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın perspektif görüntüsü

Gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın m^2 başına net enerji tüketimi 107,31 kWh hesaplanmıştır.

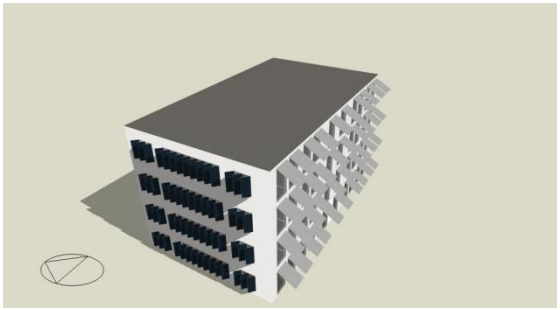
Gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binada herhangi bir enerji üretimi olmadığı için net enerji tüketimi toplam enerji tüketimine eşittir. Kategorilere göre binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi Çizelge 4. 9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 9 Kategorilere göre Antalya'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi

m^2 başına enerji tüketimi	107,31 kWh/m^2
Aydınlatma	8,40 kWh/m^2
HVAC	64,36 kWh/m^2
Diğer	34,55 kWh/m^2

4.2.4.4 Gölgeleme Elemanlarının PV Sistemle Oluşturulduğu Binanın Enerji Yüklerinin Hesaplanması

- İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın enerji yükleri:



Şekil 4. 28 İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın perspektif görüntüsü

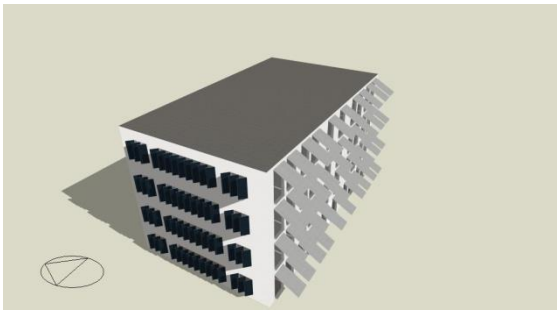
Gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın m^2 başına net enerji tüketimi 95,07 kWh hesaplanmıştır.

Gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binada enerji üretimi olduğu için net enerji tüketiminin dışında, toplam enerji tüketimi 106,80 kWh/m^2'dir. Kategorilere göre binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi Çizelge 4. 10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 10 Kategorilere göre İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi

m^2 başına enerji tüketimi (toplam tüketim üzerinden)	106,80 kWh/m^2
Aydınlatma	10,44 kWh/m^2
HVAC	61,69 kWh/m^2
Diğer	34,66 kWh/m^2

- Antalya'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın enerji yükleri:



Şekil 4. 29 Antalya'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın perspektif görüntüsü

Gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın m^2 başına net enerji tüketimi 90,88 kWh hesaplanmıştır.

Gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binada enerji üretimi olduğu için net enerji tüketiminin dışında, toplam enerji tüketimi 106,47 kWh/m^2'dir. Kategorilere göre binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi Çizelge 4. 11'de gösterilmiştir.

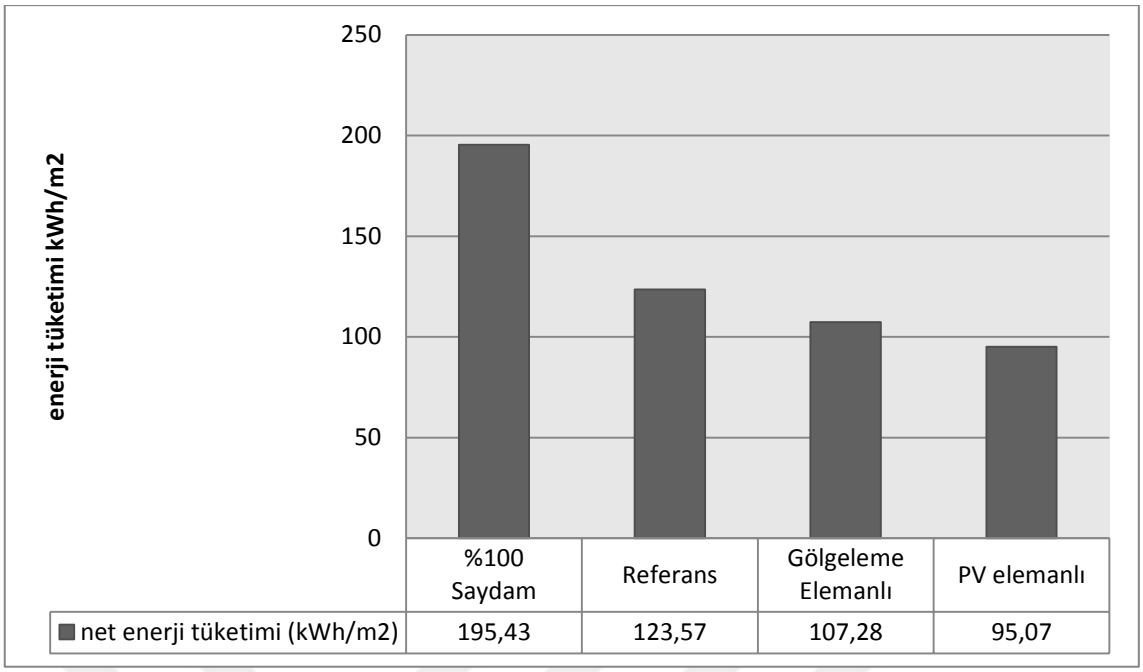
Çizelge 4. 11 Kategorilere göre Antalya'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın kWh/m^2 türünden enerji tüketimi

m^2 başına enerji tüketimi (toplam tüketim üzerinden)	106,47 kWh/m^2
Aydınlatma	8,80 kWh/m^2
HVAC	63,15 kWh/m^2
Diğer	34,55 kWh/m^2

4.2.4.5 Enerji Yüklerinin Karşılaştırılması ve PV Sistem ile Bütünleşik Gölgeleme Elemanının Etkinliğinin Belirlenmesi

- İstanbul ili için enerji performansı analizleri:

İstanbul'daki 4 farklı bina senaryosunun enerji tüketim değerleri Şekil 4. 30'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 30 İstanbul'daki 4 farklı bina senaryosunun enerji tüketim değerleri

Referans binanın gölgeleme elemanları ile performansı:

İstanbul için tasarlanan referans binaya gölgeleme elemanlarının eklenmesiyle net enerji tüketiminde 16,29 kWh/m^2 azalma sağlanmıştır. Enerji tüketimindeki bu düşüş %13,18'lik azalmaya karşılık gelmektedir.

Gölgeleme elemanlarının PV modüllerden oluşturulduğu durumda gölgeleme elemanlı duruma göre net enerji tüketiminde 12,21 kWh/m^2 daha azalma sağlanmıştır. Enerji tüketimindeki bu düşüş, PV modüllerden enerji üretimiyle, gölgeleme elemanlı durum üzerinden %9,88'lik azalmaya karşılık gelmektedir. PV modüllerin hem enerji ürettiği hem de gölgeleme elemanı görevi gördüğü durum, referans binaya göre net enerji tüketiminde 28,5 kWh/m^2'lik bir düşüş %23,06'lık bir azalmaya karşılık gelmektedir.

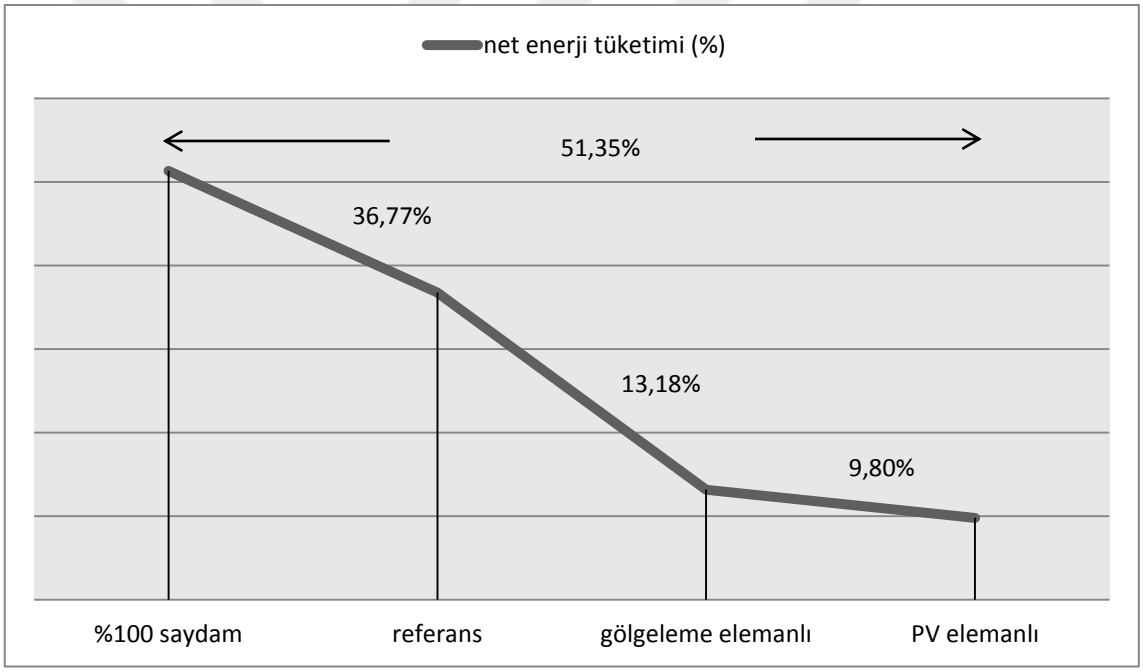
Sonuçta, referans binaya gölgeleme elemanı eklenmesi %13,8 enerji performansını yükselterek net enerji tüketimini düşürmüş, gölgeleme elemanlarının PV modüllerle oluşturulması ise bunun üzerine %9,88 daha katkı sağlayarak toplamda %23,06'lık bir azalma sağlanmıştır.

%100 saydamlık oranındaki bina ile referans bina karşılaştırması:

İklimle dengeli tasarım senaryosunu temsil eden referans bina, %100 saydamlık oranındaki binanın enerji performansı ile karşılaştırılmıştır. İklimsel gereksinimleri

gözetmeden tasarlanan %100 saydamlık oranındaki binadan, tasarımında iklimsel verilerin kullanıldığı referans binaya geçişte, net enerji tüketiminde 71,86 kWh/m^2 azalma sağlanmıştır. Enerji tüketimindeki bu düşüş, %100 saydamlık oranındaki binaya göre %36,77'lik azalmaya karşılık gelmektedir. %100 saydamlık oranındaki binaya göre gölgeleme elemanlarının PV modüllerden oluştuğu durumda net enerji tüketiminde 100,36 kWh/m^2 azalma sağlanmıştır. %100 saydamlık oranındaki binaya göre enerji tüketimindeki bu düşüş %51,35'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir. Bu durumda PV elemanlı son durumda net enerji tüketimi üzerinden binanın enerji performansı yaklaşık iki katına çıkmıştır.

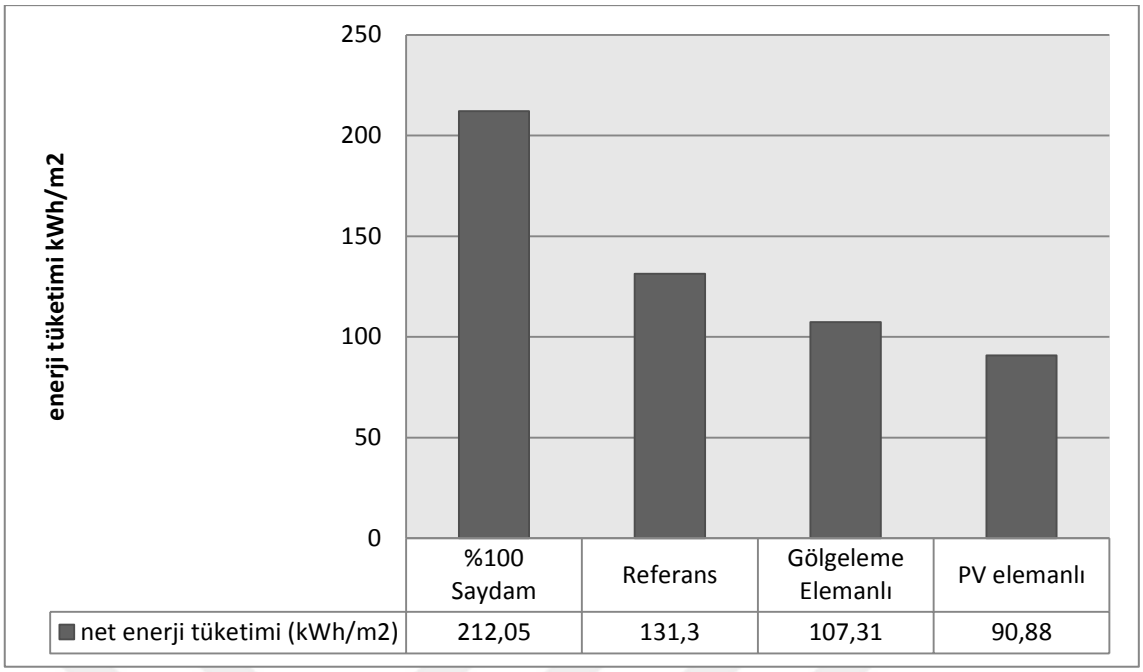
Şekil 4. 31'de İstanbul'daki farklı bina senaryolarının %100 saydamlık oranındaki binaya göre net enerji tüketiminde azalma yüzdeleri yani iyileştirme oranları gösterilmiştir.



Şekil 4. 31 İstanbul'daki farklı bina senaryolarının %100 saydamlık oranındaki binaya göre net enerji tüketiminde azalma yüzdeleri

- Antalya ili için enerji performansı analizleri:

Antalya'daki 4 farklı bina senaryosunun enerji tüketim değerleri Şekil 4. 32'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 32 Antalya'daki 4 farklı bina senaryosunun enerji tüketim değerleri

Referans binanın gölgeleme elemanları ile performansı:

Antalya için tasarlanan referans binaya gölgeleme elemanlarının eklenmesiyle net enerji tüketiminde 23,99 kWh/m^2 azalma sağlanmıştır. Enerji tüketimindeki bu düşüş %18,27'lik azalmaya karşılık gelmektedir.

Gölgeleme elemanlarının PV modüllerden oluşturulduğu durumda gölgeleme elemanlı duruma göre net enerji tüketiminde 16,43 kWh/m^2 daha azalma sağlanmıştır. Enerji tüketimindeki bu düşüş, PV modüllerden enerji üretimiyle, gölgeleme elemanlı durum üzerinden %12,51'lik azalmaya karşılık gelmektedir. PV modüllerin hem enerji ürettiği hem de gölgeleme elemanı görevi gördüğü durum, referans binaya göre net enerji tüketiminde 40,42 kWh/m^2'lik bir düşüş %30,78'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir.

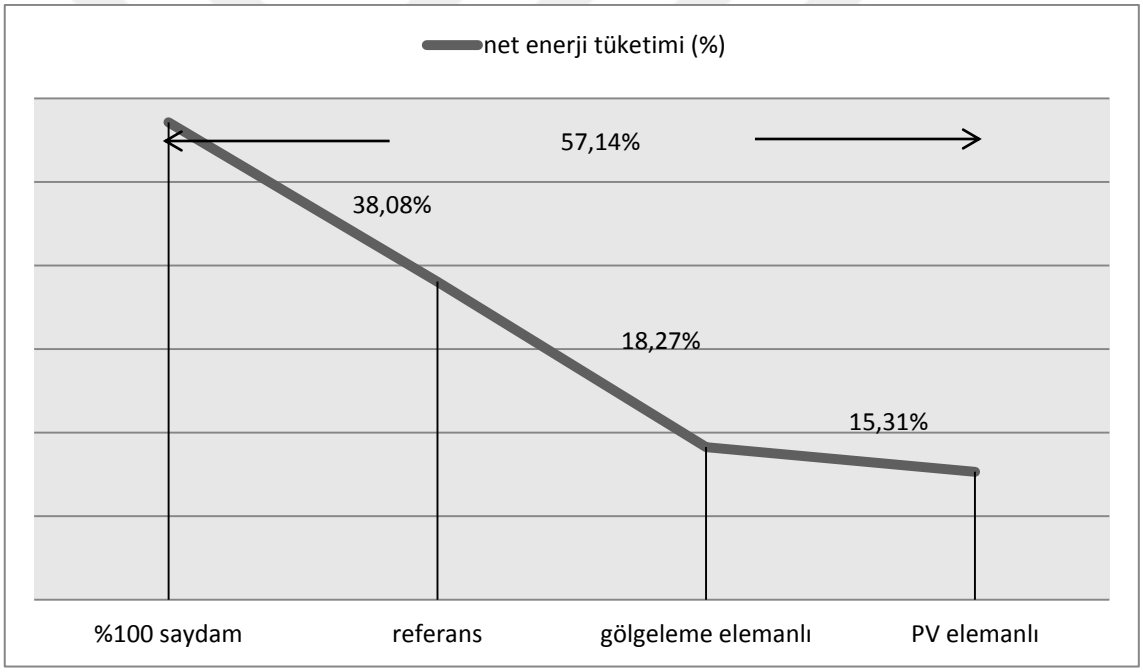
Sonuçta, referans binaya gölgeleme elemanı eklenmesi %18,27 enerji performansını yükselterek net enerji tüketimini düşürmüş, gölgeleme elemanlarının PV modüllerle oluşturulması ise bunun üzerine %12,51 daha katkı sağlayarak toplamda %30,78'lik bir azalma sağlanmıştır.

%100 saydamlık oranındaki bina ile referans bina karşılaştırması:

İklimle dengeli tasarım senaryosunu temsil eden referans bina, %100 saydamlık oranındaki binanın enerji performansı ile karşılaştırılmıştır. İklimsel gereksinimleri

gözetmeden tasarlanan %100 saydamlık oranındaki binadan, tasarımında iklimsel verilerin kullanıldığı referans binaya geçişte, net enerji tüketiminde 80,75 kWh/m^2 azalma sağlanmıştır. Enerji tüketimindeki bu düşüş, %100 saydamlık oranındaki binaya göre %38,08'lik azalmaya karşılık gelmektedir. %100 saydamlık oranındaki binaya göre gölgeleme elemanlarının PV modüllerden oluştuğu durumda net enerji tüketiminde 121,17 kWh/m^2 azalma sağlanmıştır. %100 saydamlık oranındaki binaya göre enerji tüketimindeki bu düşüş %57,14'lik bir azalmaya denk gelmektedir. PV elemanlı son durumda net enerji tüketimi üzerinden binanın enerji performansı yaklaşık 2,3 katına çıkmıştır.

Şekil 4. 33'de Antalya'daki farklı bina senaryolarının %100 saydamlık oranındaki binaya göre net enerji tüketiminde azalma yüzdeleri yani iyileştirme oranları gösterilmiştir.

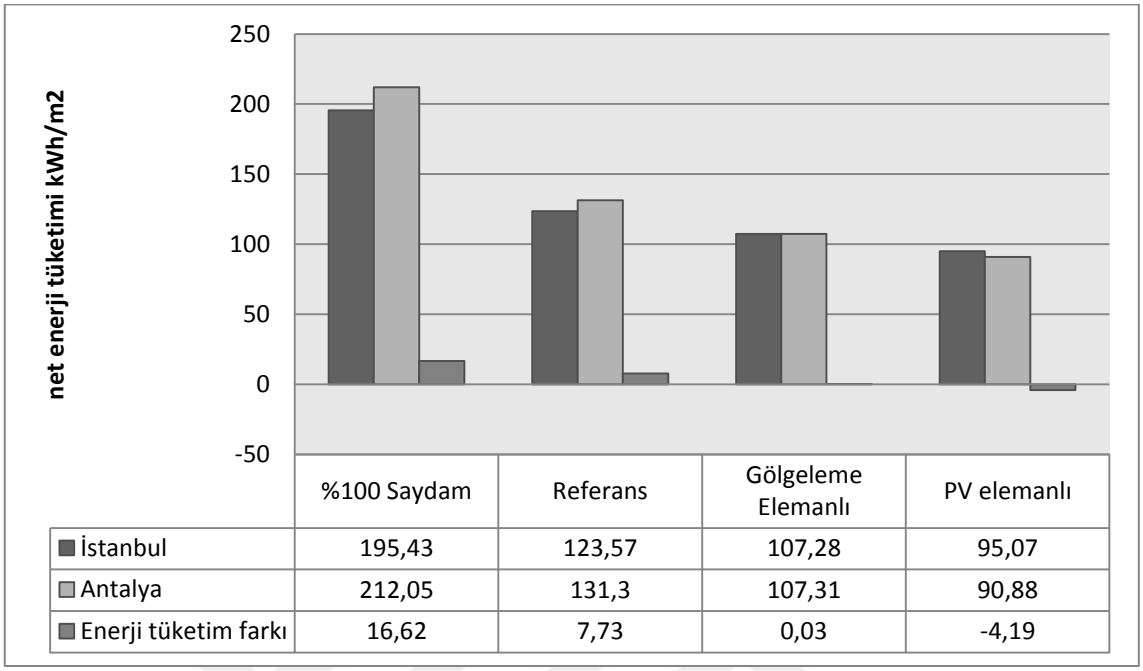


Şekil 4. 33 Antalya'daki farklı bina senaryolarının %100 saydamlık oranındaki binaya göre net enerji tüketiminde azalma yüzdeleri

- İstanbul ve Antalya illerinin enerji performans analizlerinin karşılaştırılması:

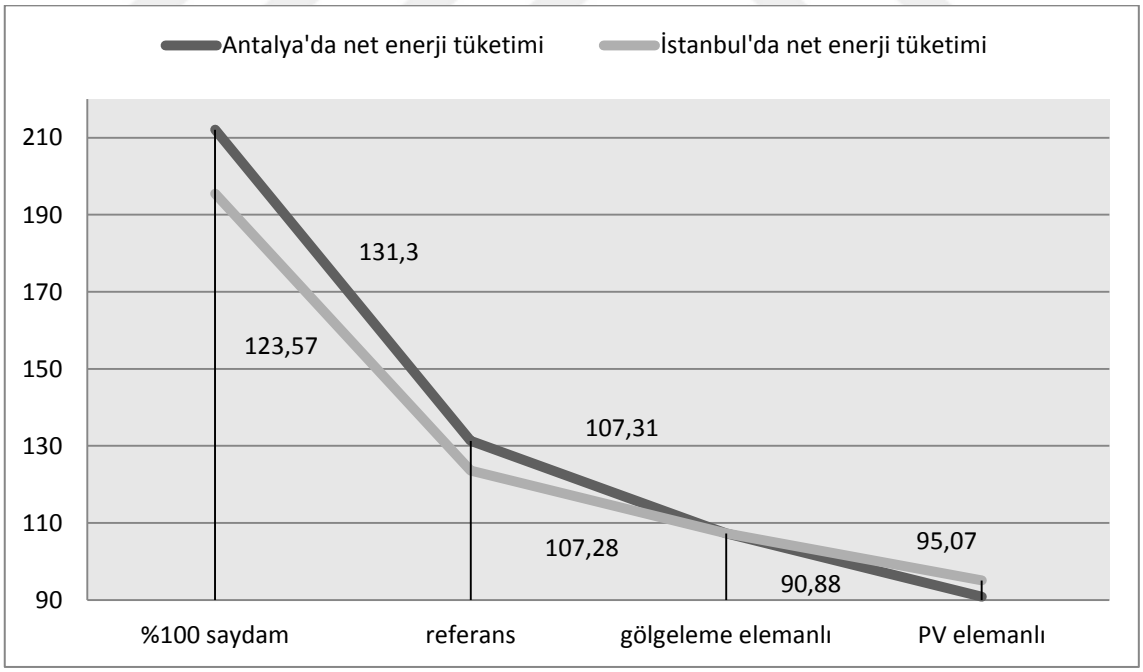
Antalya ve İstanbul illerindeki enerji performans analiz karşılaştırması aynı senaryolar üzerinden yapılmıştır. Senaryolar arası oluşan enerji performans düzeyindeki farklılıkların nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Şekil 4. 34'de İstanbul ve Antalya illerindeki farklı bina senaryolarının net enerji tüketim değerleri karşılaştırarak gösterilmiştir.



	%100 Saydam	Referans	Gölgeleme Elemanlı	PV elemanlı
İstanbul	195,43	123,57	107,28	95,07
Antalya	212,05	131,3	107,31	90,88
Enerji tüketim farkı	16,62	7,73	0,03	-4,19

Şekil 4. 34 İstanbul ve Antalya illerindeki farklı bina senaryolarının net enerji tüketim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4. 35 İstanbul ve Antalya illerindeki farklı bina senaryolarının net enerji tüketim değerlerinin karşılaştırılması (çizgi gösterim)

Antalya'da %100 saydamlık oranında ki binanın enerji performansının İstanbul'dakinden daha az olmasının sebebi, Antalya'nın güneşlenme süresinin ve güneş ışınım değerlerinin daha fazla olması (diğer bir deyişle soğutma dönem aralığının daha uzun olması) ,%100 saydamlık oranındaki binada ser etkisi nedeniyle iç mekanda soğutma yüklerinin daha fazla artması şeklinde açıklanabilir.

İstanbul'daki referans binanın net enerji tüketim değeri Antalya'daki referans binadan 7,73 kWh/m^2 daha düşüktür. Bu durumda İstanbul'daki referans ofis binasının enerji performansı Antalya'daki referans ofis binasına göre daha iyidir. Her iki ildeki referans binaların net enerji tüketim değerlerine bakıldığında, bu farkın baskın olarak HVAC tarafından olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi, Antalya koşullarında iç mekanı konfor koşullarına getirebilmek için daha fazla mekanik enerjiye ihtiyaç olduğu şeklinde açıklanabilir.

Her iki ilin referans binasında gölgeleme elemanı kullanıldığında Antalya'daki gölgeleme elemanlı binanın net enerji tüketim değeri İstanbul'dakine eşitlenmiş ve azalma oranı açısından ise Antalya geçmiştir. Bunun sebebi, Antalya ilinde güneşten korunma istenen dönemin daha geniş olması ve gölgeleme elemanın daha fazla etkinlik göstermesi şeklinde açıklanabilir.

PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı senaryosu, Antalya ilindeki binanın net enerji tüketimi değerinde daha fazla performans göstermiş ve net enerji tüketimi azalma oranı açısından ise İstanbul ilindeki bina ile arasındaki farkı açarak geçmiştir. Yani hem gölgeleme elemanı hemde PV sistem kullanıldığı durumda Antalya daha az enerji tüketmektedir. Bunun sebebi güneşlenme süresi ve güneş ışınım değerlerinin Antalya'da daha fazla olmasından dolayı PV sistemden üretilen enerjinin daha fazla olmasıdır. Bunun yanında PV sistem ile bütünleşik yatay gölgeleme elemanı tasarımında yatay elemanların boyutlarının büyüyerek alanlarının artmasınında etkisi olmuştur.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın sonuçları:

- Çalışmanın amacı, etken(aktif) ve edilgen(pasif) bir tasarım olan PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının ofis binalarında enerji performansını yükselterek şebeke kaynaklı enerji kullanımının düşürülmesidir. Dolaylı olarak ise fosil kaynaklı yakıtların kullanımı azaltılarak fosil kaynaklı yakıtlara bağlı tüm risklerin azaltılmasıdır.
- Bu amaç ortaya konulurken enerji tüketim değerleri yüksek olan ofis binaları seçilmiş ve günümüzde en çok tasarlanan %100 saydamlık oranındaki ofis binasına kıyasla iklimle dengeli tasarım örneği üzerinden enerji performansındaki değişim incelenmiştir. Ayrıca çalışmanın farklı iklim bölgelerindeki sonuçları değerlendirilmiştir.
- Çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında, gölgeleme elemanı ile bütünleşik PV sistem tasarımı için yaklaşım oluşturulmuştur. Yaklaşım, güneşin yeryüzündeki etkinliğine bağlı olarak tasarlanması gereken iki ayrı sistem olan gölgeleme elemanı ve PV sistem tasarımlarını tek bir eleman şeklinde bütünleştirilerek tasarlanabilmesini sağlar. Oluşturulan yaklaşım, yatay ve düşey elemanlar şeklinde ikiye ayrılmıştır;

  PV sistem ile bütünleşik yatay gölgeleme elemanının, eğimini PV etkinliğinden boyutlarını gölgeleme etkinliğinden alan ve karakteristik tarihe (ay, gün, saat) göre tasarlanan, bunun yanında görsel verim ve PV modül üretim boyutlarına göre denetlenen tasarımının oluşturulması açıklanmıştır. Bu yaklaşım sırasında

optimum PV eğimi için çıkarım yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, optimum PV açısının belirlenmesiyle ilgili evrensel genellemelerin yapılması beklenmemelidir. PV sistemin kurulacağı yere özgü deneyler veya simülasyonlar yapılarak bu açının bulunması daha doğru olur.

PV sistem ile bütünleşik düşey gölgeleme elemanı tasarımında, düşey elemanın konumunun (açısının) belirlenmesinde, PV sistem ve gölgeleme etkinliklerinin güneş ışınımlarına göre aynı şekilde çözümlenebileceği açıklanmıştır. Ardından gölgeleme etkinliği açısından, karakteristik zaman aralığına (gün içindeki saat aralığı) göre oluşturulan seçenekler arasında karakteristik zaman aralığını kapsayıcılık yönünden seçim yapılan, bunun yanında görsel verim ve PV modül üretim boyutları açısından denetlenen tasarımın oluşturulması açıklanmıştır.

- Yaklaşımın uygulanacağı bina oluşturulurken Türkiye koşullarında iklimle dengeli bir ofis binasının tasarımında göz önüne alınabilecek yönetmelik, standart ve literatür bilgileri kapsamında örnek bina üzerinden model ve program oluşturulma izlencesi ortaya konulmuştur.
- Tasarlanan PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının uygulanması üzerinden oluşturulan dört farklı senaryonun, oluşturulan ofis binasının enerji performansına etkileri değerlendirilerek yaklaşımın sonuçları ortaya konulmuştur. Bu bağlamda,

  İstanbul için referans bina üzerinde gölgeleme elemanı tasarımının uygulanması ile enerji tüketiminde %13,18, gölgeleme elemanının PV sistem ile bütünleştirilmesi ile %9,8 toplamda %22,98 azalma sağlanmıştır. %100 saydamlık oranındaki duruma göre ise %51,35 enerji tüketiminde azalma sağlanmıştır.

  Antalya için referans bina üzerinde gölgeleme elemanı tasarımının uygulanması ile enerji tüketiminde %18,27, gölgeleme elemanının PV sistem ile bütünleştirilmesi ile %15,31 toplamda %33,58 azalma sağlanmıştır. %100 saydamlık oranındaki duruma göre ise %57,14 enerji tüketiminde azalma sağlanmıştır.
- Yaklaşımın uygulandığı İstanbul ve Antalya illerindeki ofis binalarının karşılaştırması yapılmış ve güneş etkinliğinin (yani güneş ışınım değerlerinin değeri ve soğutma döneminin uzunluğu) daha yüksek olduğu iklim bölgelerinde PV sistem

ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımının binanın enerji performansına daha çok katkı sağlayabileceği gözlenmiştir. Bu noktadan çıkarımla, hem güneş ışınım değerlerine göre hemde soğutma dönemi uzunluğuna bağlı olarak, oluşturulan yaklaşımın etkinliği soğuk iklim bölgelerinden güneş etkinliğinin arttığı sıcak iklim bölgelerine doğru artabilir şeklinde bir genelleme yapılabilir. Burada gözden kaçırılmaması gereken durum, soğutma dönemi kısalırken güneş ışınım değerlerinin artabileceği iklim bölgelerinin olabilmesidir. Bu sebeple toplam güneş kazanımı (PV sistem etkinliği için güneş ışınım değerleri, gölgeleme elemanı için soğutma döneminin uzunluğu) incelenmelidir.

- Çalışmanın amacı olan, enerji tüketiminin pasif yollarla ve ardından aktif bir sistem olarak yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak azaltılması, bu sayede şebeke kaynaklı fosil yakıt kullanımının azaltılabilmesi, bina enerji performansları son durumlarında yaklaşık iki katına çıkartılarak başarılmıştır.
- Gün geçtikçe PV sistem teknolojilerinin verimlilik, maksimum güç değeri ve doğal şartlara uyumu arttırıldıkça, geliştirilen yaklaşım bağlamında, PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının (ofis tipi) binaların enerji performansına etkisi de artacaktır.

<u>Çalışma kapsamında sunulabilecek öneriler:</u>

- PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımının ofis binasının enerji performansına etkisinin değerlendirilmesinin yanında PV sistem ve gölgeleme elemanı olarak iki ayrı alt sistemin, üzerinde uygulandığı binanın tasarım değişkenleri ile etkileri gelecek çalışmalarda daha geniş kapsamda ele alınarak değerlendirilebilir.
- PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı uygulaması, binanın günışığından yararlanmasını azaltabilir. Bu durumda azalan gün ışığından yararlanma miktarının yapay aydınlatma ile karşılanması ile harcanacak enerji, uygulanan tasarımın enerji tüketiminde sağladığı azalma ile karşılaştırılabilir.
- Çalışma kapsamında yapılan kabullerden birisi cephelere göre saydamlık oranlarıdır. Saydamlık oranının cephelere göre dağılımında cephenin, soğutma

yükünü ve ısıtma yükünü arttırma potansiyelleri göz önünde bulundurularak farklı illerde farklı saydamlık oranı senaryoları üzerinden, farklı referans bina senaryoları oluşturulabilir.

- Tez çalışmasında oluşturulan yaklaşım maliyet bağlamında, binanın yaşam döngüsündeki enerji tüketiminde azalma ile yapılan ilk yatırımın miktarı ile karşılaştırılarak değerlendirilebilir.
- PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanlarının konsol olarak binanın taşıyıcı sistemine getireceği yük, taşıyıcı sistem tasarımı sırasında göz önüne alınmalıdır. PV sistemin konstrüksiyonu da tasarlanmalıdır.
- Çalışma kapsamında PV sistem ile bütünleşik yatay gölgeleme elemanı tasarımı, pencere genişliğine bağlı tasarlanmıştır. Bu durumda karakteristik tarihteki saatin dışında güneş ışınımları yanlardan girebilir. Cephe boyunca, saydam alanları koruyan gölgeleme elemanları uzatılıp birleştirilerek gölgeleme etkinliği arttırılabilir. Bu durumda PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımı açısından PV sistem alanı da arttırılmış olacaktır. Bu sayede hem soğutma yükleri daha da azaltılmış olacak hem de artan PV sistem alanı ile üretilen enerji miktarı da artacaktır.
- PV sistem ile bütünleşik yatay gölgeleme elemanı tasarımı tek parça olmasının yerine çok parçalı da tasarlanabilir. Gölgeleme etkinliği açısından aynı etkinliği gösterecektir fakat yatay parçaların birbirlerine gölge atarak PV sistem performansına negatif etki edebilir. Gün ışığının iç mekana daha homojen alınmasını sağlayabilir.
- Sabit olan PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanlarının hareketli olarak tasarlandığı ve bu çalışma kapsamı bağlamındaki gibi değerlendirildiği bir çalışma gerçekleştirilebilir.
- Seçilen PV sistem teknolojisinin verimine göre oluşturulan yaklaşımın bina enerji performansına etkisi değişecektir. PV modül tipi seçilirken yüksek verimli ve maksimum güç değeri yüksek PV sistem teknolojisi seçilmesi, yaklaşımın uygulanacağı binanın enerji performansını arttırır.

- Kristalize silikon PV hücre teknolojisine göre daha az verimli olan bunun yanında;

  Dış çevrenin binadaki PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanını gölgede bırakacak şekilde olduğu durumlarda, tüm sistem yerine sadece gölgelenen bölümde verimliliği düşen,

  Doğu ve batıda kısıtlı süre doğrultulu güneş ışınımı alabilecek PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının, gün boyunca güneşten yararlanmasını arttırmak için yayınık gelen güneş ışınımı altında da verimli çalışabilen,

  PV modül sıcaklığının çok artması beklenen yerlerde, verimi sıcaklıktan daha az etkilenen,

  ince film PV hücre teknolojisinin kullanılması önerilebilir.

- PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı, bina tasarımı sırasında tasarlanırsa, hesaplanan enerji yüklerini etkileyerek mekanik sistem boyutlandırmasının daha doğru yapılmasını sağlar.

- Bu çalışma ile daha önceki yapılan çalışmalardan farklı olarak, hem PV sistemin verimi hem de gölgeleme elemanı etkinliği ayrı ayrı incelenerek birlikte optimum tasarımının yaklaşımı (bir BIPV sistem olan PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarlama yaklaşımı) verilmiştir. Türkiye coğrafi şartlarında böyle bir sistemin her iki alt sistem açısından da uygulamaya değer sonuçlarının alınabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Sakınç, E., 2006. Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimaride Güneş Enerjili Etken Sistemlerin Tasarım Öğesi Olarak Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[2] Mangan, S. D., (2014). Yaşam Döngüsü Enerji ve Maliyet Etkinliği Açısından Konut Binalarının Performanslarının Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[3] Yanardağ, H. M., 2015. Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulamalarının Enerji ve Maliyet Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[4] Yasan, A., 2011. Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] Karaca, Ö., 2011. İstanbul'da Mevcut Bir Büro Yapısının Enerji Etkin Yenilenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[6] Moral Uğur, E., 2006. Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları ile Bütünleştirilmelerine Yönelik Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[7] Özkılıç Keleş, C., 2008. Türkiye'de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[8] Zorer Gedik G., (2002). "An Approach to Designing An Optimal Shading Device", Architectural Science Review, 45 (4): 1-9.

[9] Zorer Gedik G., (2001). "The Design of Shading Devices in Relation to the Window Orientations," Livable Environments and Architecture International Congress, 2001, Trabzon.

[10] Vincenzo, M. C., Kesten D. ve Infield D. (2012). "Assessment of PV Shading Device on Building Energy Consumption Taking into Account Site Layout", Journal of Energy and Power Engineering, 6: 346-352.

[11] Yoo, S. And Lee, E. (2002). "Efficiency Characteristic of Building İntegrated Photovoltaics As A Shading Device", Building and Environment, 37: 615-623.

[12] T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), Güneş Enerjisi ve Teknolojileri http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, 01 Ocak 2016.

[13] Moltay Ö., (2012), Binalarda Fotovoltaik Enerji Kullanımının Türkiye'deki Potansiyeli, http://www.ekoyapidergisi.org/15-binalarda-fotovoltaik-enerji-kullaniminin-turkiyedeki-potansiyeli.html, 20 Haziran 2016.

[14] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx, 10 Mayıs 2016.

[15] Stapleton, G., Neill, S. and Milne, G., (2013), Photovoltaic systems, http://www.yourhome.gov.au/energy/photovoltaic-systems, 20 Mayıs 2016.

[16] Weissenbacher, M., (2015). "Towards New Renewable Energy Policies in Urban Areas: The Re-definition of Optimum Inclination of Photovoltaic Panels", Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 3 (4): 372-388.

[17] M. Meltzer, " Passive Active Solar Heating Technology ", New Jersey, Prentice Hall Inc, 1985.

[18] Roberts, S. and Guariento, N., (2009). Building Integrated Photovoltaics / a Handbook, Birkhauser Verlag AG, Berlin.

[19] Hartner, M., Ortner, A., Hiesl, A. and Haas, R., (2015). "East to west – The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective", Applied Energy, 160: 94-107.

[20] Dong, Y., Xu, L., Lu, M., Ding, M. and Wu, B., (2014). "Design Optimization of Photovoltaic (PV) Array Optimum Tilt", 2014 China International Conference on Electricity Distribution, 23-26 September, Shenzhen.

[21] Pourgharibshahi, H., Abdolzadeh, M. and Fadaeinedjad, R., (2015). "Verification of Computational Optimum Tilt Angles of a Photovoltaic Module Using an Experimental Photovoltaic System", Environmental Progress and Sustainable Energy, 34 (4): 1156-1165.

[22] Rakovec, R., Zakšek, K., Brecl, K., Kastelec, D. And Topic, M., (2011). "Orientation and Tilt Dependence of a Fixed PV Array Energy Yield Based on Measurements of Solar Energy and Ground Albedo a Case Study of Slovenia"; Editor: Kini, G., (2011). Energy Management Systems, InTech, Croatia.

[23] International Energy Agency. "Photovoltaıcs In Buıldıngs A Design Handbook For Architects And Engineers, Paris.

[24] Kaçan, E. ve Ülgen, K. (2012). "Güneş Enerjisi Toplayıcılarında Eğim ve Yönlendirmenin Yararlanabilirliğe Etkisi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 27 (4): 837-846.

[25] Kacira, M., Simsek, M. Babur Y. and Demirkol, S., (2004). "Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey", Renewable Energy, 29: 1265-1275.

[26] Ayaz, R., (2012). Farklı Pv Teknolojilerinin Gerçek Ortam Verileri Kullanılarak Modellenmesi Ve İstanbul Şartlarında Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[27] Şahin, M. E. ve Okumuş, H.,İ., (2013). "Güneş Pili Modülünün Matlab/Simulink ile Modellenmesi ve Simülasyonu", EMO Bilimsel Dergi, 3 (5): 17-25.

[28] Honsberg, C. And Bowden, S., IV Curve, http://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/iv-curve, 20 Mayıs 2016.

[29] Chang, Y., (2010). "Optimal the tilt angles for photovoltaic modules in Taiwan", Electrical Power and Energy Systems, 32: 956-964.

[30] Jung, S. K., (2014). Optimal Control Methods for PV-integrated Shading Devices, Doctorate Thesis, University of Michigan.

[31] Mehleri, E. D., Zervas, P. L., Sarimveis, H., Palyvos, J. A. and Markatos, N. C., (2010). "Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays", Renewable Energy, 35: 2468-2475.

[32] Wang, D. and Chang, Y., (2010). "Optimization of Tilt Angle for Photovoltaic Modules Based on the Neural-Genetic Algorithm", Journal of Nan Kai, 7 (1): 57-70.

[33] Kim, J., Jung, S. K., Choi, Y. S. and Kim, J. T., (2010). "Optimization of Photovoltaic Integrated Shading Devices", Indoor and Built Environment, 19 (1): 114-122.

[34] Kısa Ovalı, P., (2009). Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematiğinin Oluşturulması Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

[35] Turhan, S. ve Çetiner, İ., (2012). "Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi", 6. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, 12 – 13 Nisan 2012, Bursa.

[36] Şerefhanoğlu Sözen, M., (2010). Yapı Yüzlerinin Güneşlenme Durumları, İkinci Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul.

[37] Yılmaz, Y., Farklı İklim Bölgelerinde Bir İlköğretim Tip Projesinin Enerji Etkin Geliştirilmesine Yönelik Uygulama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[38] TS825, (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, TSE, 2009 revizenin tadilatı, Ankara.

[39] European Commission - Joint Research Center - Instıtute Of Energy For Transport, Solar Radiation And Photovoltaic Electricity Potential Country And Regional Maps For Europe, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm#TR, 10 Nisan 2016.

[40] Sev, A. ve Başarır, B., (2011). "Geçmişten Geleceğe Enerji Etkin Yüksek Yapılar ve Uygulama Örnekleri," 10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13 – 16 Nisan 2016, İzmir.

[41] Bayraktar, M., Schulze, T. ve Yılmaz, A.Z., (2015). "Binalarda Enerji Simülasyonları İçin Veri Toplama Listeleri Aracılığıyla Veri Yönetimi Modelinin Oluşturulması", 9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 06-09 Mayıs 2009, İzmir.

[42] US Department Of Energy (The Unıversıty Of Illınoıs and The Ernest Orlando Lawrence Berkeley Natıonal Laboratory), (2015). Engineering Reference The Reference to EnergyPlus Calculations.

[43] US Department Of Energy, (2016). EnergyPlus™ Version 8.5 Documentation Input Output Reference.

[44] Yılmaz, A.Z., (2015). "Bina Enerji Verimliliği Düzeyinin Belirlenmesinde Referans Bina ve Referans Değerlerin Önemi", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015, İzmir.

[45] İBB, (2007). İstanbul İmar Yönetmeliği, 1512, İstanbul.

[46] V. Olgyay, (1963). "Design With Climates," Princeton University Press, N .J. Princeton.

[47] Yaşa, E., (2013). "Farklı İklim Bölgelerine Göre Bina Formunun Mikro Klimatik Konfor Üzerine Etkisinin Termal Performans Bakımından Değerlendirilmesi", Çevre Tasarım Kongresi, 12-13 Aralık 2013, Bursa, 349-362.

[48] Kaçel, S., Ekşi, A. ve Yılmaz, A.Z., (2015). "Konut ve Ofis Fonksiyonlu Hacim Örneğinde Yapı Kabuğu Enerji Performansının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015, İzmir.

[49] Berköz, E., Küçükdoğu, M. ve diğerleri, (1995). Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, Tübitak Proje No: INTAG 201, İstanbul.

[50] Balifficient Technology Hot Press, Energy loads and Energy Sauces, http://synergycarbon.blogspot.com.tr/2012/05/energy-loads-energy-sauces-mmm.html, 1 Nisan 2016.

[51] Ueno, K. ve Straube, J., (2010), Understanding Primary/Source and Site Energy, http://buildingscience.com/documents/digests/bsd151-understanding-primary-source-site-energy, 10 Mayıs 2016.

[52] Energy Star, The Difference Between Source And Site Energy, https://www.energystar.gov/buildings/facility-owners-and-managers/existing-buildings/use-portfolio-manager/understand-metrics/difference, 20 Aralık 2015.

EK-A

OLUŞTURULAN REFERANS BİNADA PV SİSTEM İLE BÜTÜNLEŞİK GÖLGELEME ELEMANI TASARIMINDAKİ HESAPLAMALAR

Bu bölümde, oluşturulan referans binada PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımındaki hesaplamalar, (örnek oluşturması için) detaylı olarak açıklanmıştır.

A-1 PV Sistem İle Bütünleşik Yatay Gölgeleme Elemanı Tasarım Aşamalarındaki Hesaplamalar

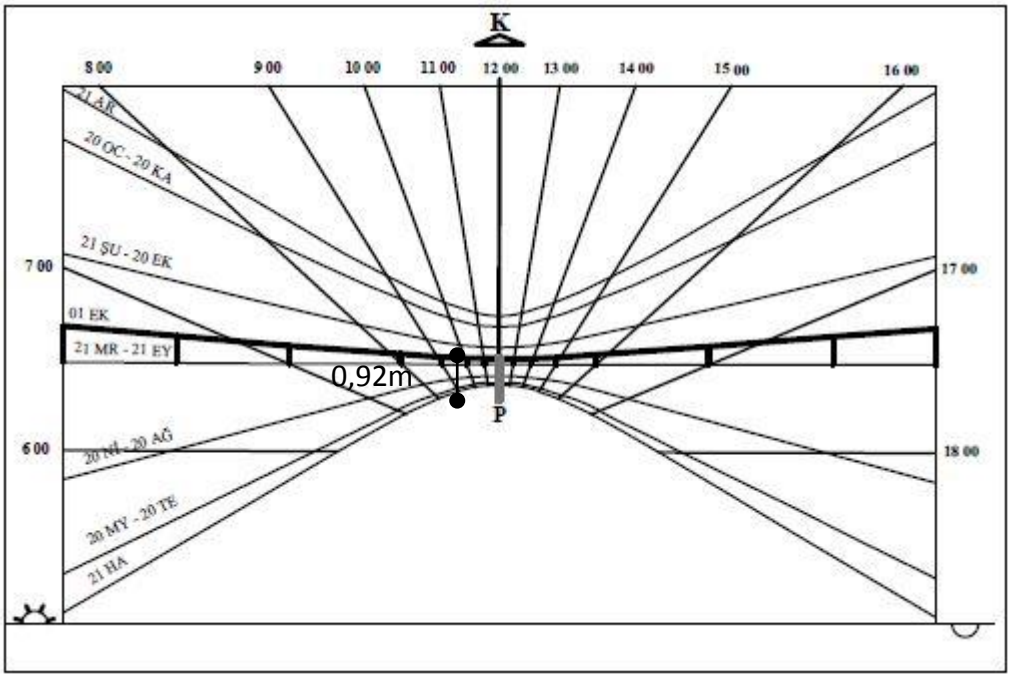
İstanbul örneği için hesaplamalar;

- Üçüncü aşamaya ait hesaplamalar:

Bu aşamada, PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının güneşten korunma istenen dönemde korunmayı sağlayacak ölçüleri, karakteristik tarihe göre gölge eğrileri yöntemi kullanılarak bulunmuştur.

1 Haziran 1 ekim döneminde güneş ışınlarının en yatık geldiği gün 1 ekimdir. 1 Ekimde ise güney cephesinde güneşin en etkili olduğu saat öğlen 12:00'dir. Gölgeleme elemanı açısından belirlenecek yatay elemanın ölçülerinden genişlik, koruması istenilen saydam alanın yani pencerenin genişliğine eşittir. Yatay elemanların genişliği, İstanbul için tasarlanan referans binanın eş olan pencerelerinin genişliklerine eşit olarak 1,5 m'dir. Yatay elemanın kendi düzlemindeki uzunluğu ise karakteristik gün ve saatteki güneş ışınımlarının geliş açısına bağlı olarak belirlenmiştir. Gelen güneş ışınımlarının açısının saptanabilmesi için gölge eğrileri yönteminden faydalanılmıştır. Türkiye'nin geneli için kabul edilebilecek 39° kuzey enlemi için hazırlanan gölge eğrilerinde P noktasından karakteristik gün ve saatin kesiştiği noktaya (1 ekim saat 12:00) çizilen çizginin boyu, o

gün ve saatteki 1 m'lik çubuğun gölge boyunu vermiştir. Yapılan işlemler sonucu 1 ekim saat 12:00'deki 1 m'lik çubuğun gölge boyu 0,92m ölçülmüştür. Şekil A. 1'de gölge eğrileri üzerinde İstanbul için belirlenen karakteristik gün ve saatteki 1 m'lik P çubuğunun gölgesi gösterilmiştir. Düşeyde çizilen 1 m'lik çubuk ile onun yatayda çizilen 0,92m'lik gölge boyunun uç noktaları birleştirilerek bir doğrultu elde edilmiştir. Bu doğrultunun yer düzlemi ile yaptığı açı 47° bulunmuştur. Güneşten korunması istenen pencerenin üst hizasından çizilen optimum PV açısının doğrultusu ile pencerenin alt hizasından çizilen güneş ışınımı geliş doğrultusunun pencerenin dış tarafında kesiştiği nokta PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanının bitiş noktası olmaktadır. Başlangıç noktası olarak pencerenin üst hizası ile bu nokta birleştirildiğinde yatay elemanın uzunluğu bulunmuş olur.



Şekil A. 1 Gölge eğrileri üzerinde İstanbul için belirlenen karakteristik gün ve saatteki (1 ekim saat 12:00) 1 metrelik P çubuğunun gölgesi

- Dördüncü aşamaya ait hesaplamalar:

Bu aşamada denetim amacıyla E_h hesaplanmıştır.

$$E_{\mathrm{h}} = \frac{\cos\beta_{\mathrm{h}}.\tan\alpha_{\mathrm{h}}}{cos\,\beta_{\mathrm{h}}.tan\,\alpha_{\mathrm{h}}+\sin\beta_{\mathrm{h}}}100\% \quad \text{(A.1)}$$

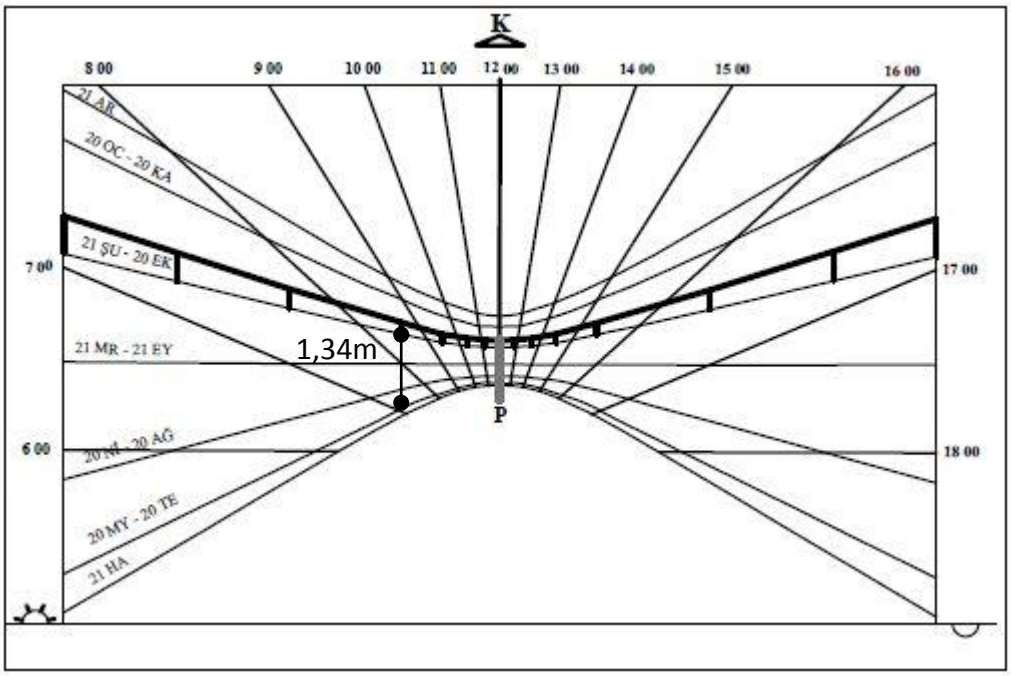
$$E_{\mathrm{h}} = \frac{\cos 30.\tan 47}{cos\,30.tan\,47+\sin 30}100\% = \%65 \quad \text{(A.2)}$$

%65 hesaplanan E_h kabul edilir bir değerdedir.

Antalya örneği için hesaplamalar;

- Üçüncü aşamaya ait hesaplamalar:

1 Mayıs 1 kasım döneminde güneş ışınlarının en yatık geldiği gün 1 kasımdır. 1 Kasımda ise güney cephesinde güneşin en etkili olduğu saat öğlen 12:00'dir. Yatay elemanların genişliği, Antalya için tasarlanan referans binanın eş olan pencerelerinin genişliklerine eşit olarak 1,5 m'dir. Yatay elemanın kendi düzlemindeki uzunluğu ise karakteristik gün olan 1 kasım ve saat 12:00'deki güneş ışınımlarının geliş açısına bağlı olarak belirlenmiştir. Gölge eğrilerinde P noktasından karakteristik gün ve saatin kesiştiği noktaya (1 kasım saat 12:00) çizilen çizginin boyu, o gün ve saatteki 1 m'lik çubuğun gölge boyunu vermiştir. Yapılan işlemler sonucu 1 kasım saat 12:00'deki 1 metrelik çubuğun gölge boyu 1,34m ölçülmüştür. Şekil A. 2'de gölge eğrileri üzerinde Antalya için belirlenen karakteristik gün ve saatteki 1m'lik P çubuğunun gölgesi gösterilmiştir. Düşeyde çizilen 1m'lik çubuk ile onun yatayda çizilen 1,34m'lik gölge boyunun uç noktaları birleştirilerek bir doğrultu elde edilmiştir. Bu doğrultunun yer düzlemi ile yaptığı açı 37° bulunmuştur. Güneşten korunması istenen pencerenin üst hizasından çizilen optimum PV açısının doğrultusu ile pencerenin alt hizasından çizilen güneş ışınımı geliş doğrultularının pencerenin dış tarafında kesiştiği nokta PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı tasarımının bitiş noktası olmaktadır. Başlangıç noktası olarak pencerenin üst hizası ile bu nokta birleştirildiğinde yatay elemanın uzunluğu bulunmuş olur.



Şekil A. 2 Gölge eğrileri üzerinde Antalya için belirlenen karakteristik gün ve saatteki (1 kasım saat 12:00) 1 metrelik P çubuğunun gölgesi

- Dördüncü aşamaya ait hesaplamalar:

Bu aşamada denetim amacıyla E_h hesaplanmıştır.

$$E_{\mathrm{h}} = \frac{\cos 30.\tan 37}{cos\ 30.tan\ 37+\sin 30} 100\% = \%56 \qquad \text{(A.3)}$$

A-2 PV Sistem İle Bütünleşik Düşey Gölgeleme Elemanı Tasarım Aşamalarındaki Hesaplamalar

<u>İstanbul örneğinde hesaplamalar;</u>

- İkinci aşamaya ait hesaplamalar:

Bu aşamada, oluşturulan seçenekler arasında önce güneşten koruma durumuna göre karşılaştırma yapılarak açı değerine karar verilmiştir.

Düşey gölgeleme elemanlarının koruması istenen pencerelerden ikisi 1,5 m diğeri 6,0m genişliğindedir. Bu sebeple, her iki pencere ölçüsüne uygun olarak 0,75m (d) eş aralıklarla düşey elemanların tasarlanmasına karar verilmiştir. Ardından, belirlenen aralığın uzunluğu kadar (d) pencere yüzeyinden uzaklıkta biten gölgeleme elemanı sınırından, genişlik (w) değerlerine ulaşılmıştır. Açı değerini (β_v) belirlemek için 45°'lik

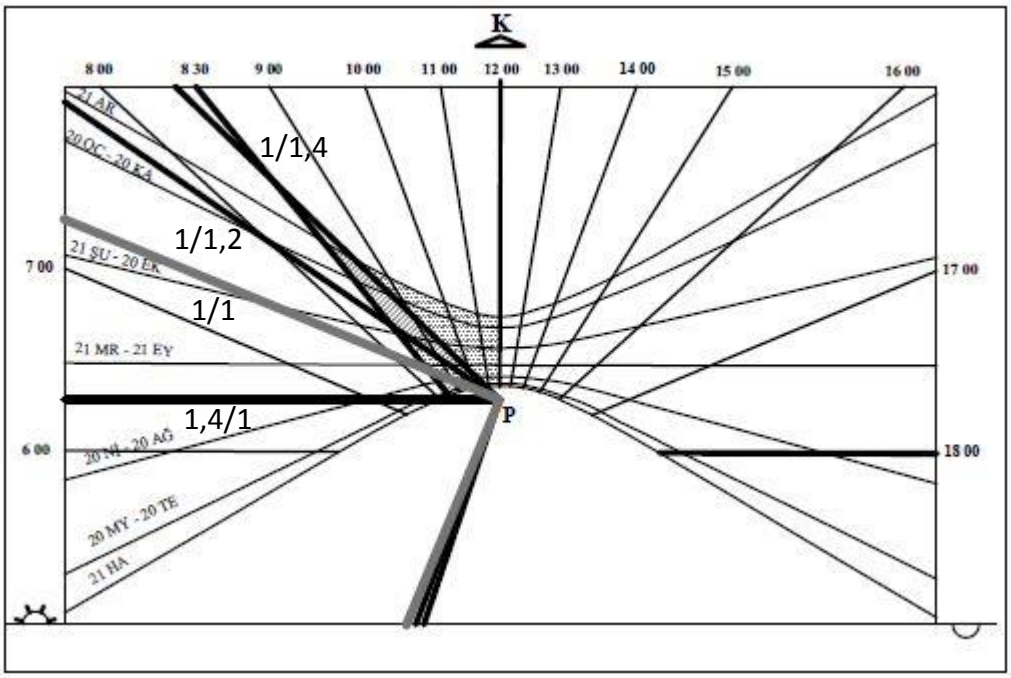
aralıklarla değişen ±45° ve 0° seçenekleri oluşturulmuştur. (w/d oranı ±45° seçeneklerinde yaklaşık 1/1,4 ve 0° seçeneğinde 1/1 olmuştur.)

Herhangi bir kısıtlama olmadan oluşturulan tasarım seçeneklerinin, doğu ve batı cephelerinde güneşten koruma karşılaştırmaları yapılmıştır. Üç farklı açı seçeneği batı cephesinde öğleden sonraki çalışma saatlerinin tamamını kapsamadığı için öğle 12:00'ye yakın saatlerde mi yoksa akşam 18:00'e yakın saatlerde mi güneşten korunmanın daha önemli olduğuna karar verilmesi gerekmiştir. Güneşin kış aylarında daha erken saatlerde batması ve güneş etkinliğinin akşam saatlerine doğru azalması sebebiyle batı cephesinde öğle saat 12:00'den itibaren korunmanın önceliğine karar verilerek seçim yapılmıştır. Çalışma saatlerini kapsayıcılık açısından doğu cephesinde +45° ve batı cephesinde -45° seçeneklerine karar verilmiştir.

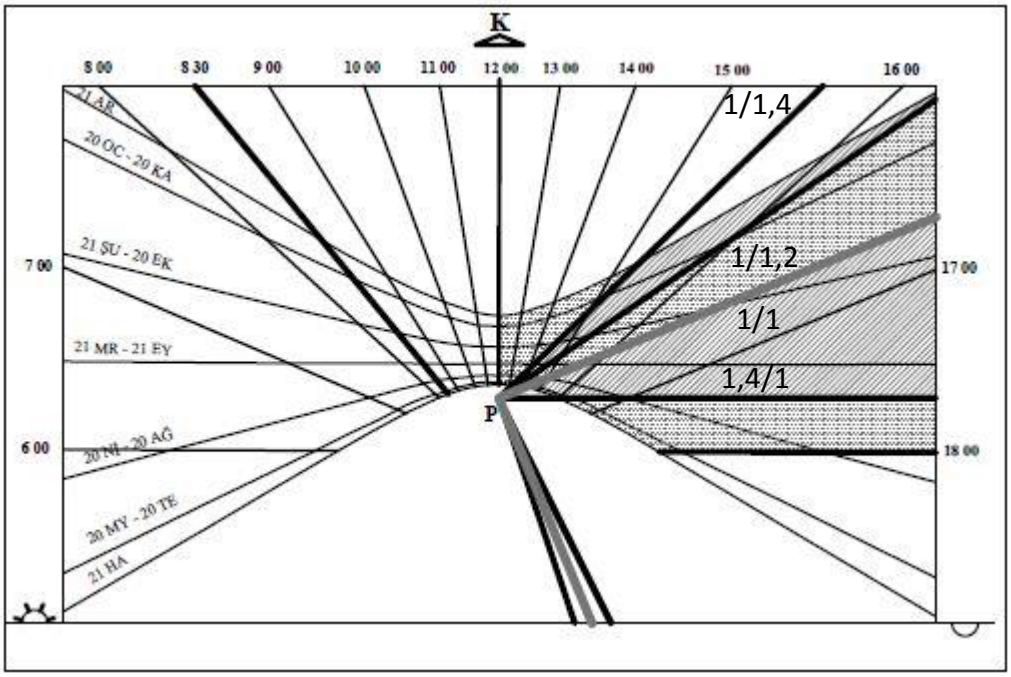
- Üçüncü aşamaya ait hesaplamalar:

Bu aşamada açısına karar verilen seçimin görsel verim değeri açısından değerlendirmesi yapılmıştır. E_v'nin yetersiz olması üzerine w/d oranı değiştirilerek görsel verim ve güneşten koruma için optimum tasarıma ulaşılmıştır.

β_v'nin ±45 olması durumunda, w/d oranı 1,4/1 olması E_v değerinin yaklaşık %1 (A.5) olmasına neden olmuştur. Çok düşük olan görsel verim değerini yükseltmek için w/d oranının farklı seçenekleri oluşturulmuştur. Bu durumda başta karar verilen 0,75m d değeri sabit tutularak w değeri değiştirilmiştir. w/d oranının örnek olarak 1/1, 1/1,2 ve 1/1,4 seçeneklerinin gölge eğrileri üzerinde karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil A. 3'de doğu(a) ve batı(b) cephelerindeki farklı w/d oranlarındaki seçeneklerin güneşten koruma durumları gölge eğrileri üzerinde gösterilmiştir. β_v'nin ±45° olması durumunda w/d oranının, 1/1 değeri için E_v %29 (A.6), 1/1,2 değeri için E_v %41, 1/1,4 değeri için E_v %50 olmaktadır. Görsel verim değerleri ve gölge eğrilerinde gösterilen güneşten koruma aralıkları bir arada değerlendirilerek 1/1 oranındaki w/d seçeneğine karar verilmiştir.



Şekil A. 3 (a) Doğu cephesinde farklı w/d oranlarındaki gölgeleme elemanlarının güneş etkinliklerinin gölge eğrileri üzerinde gösterilmesi



Şekil A. 3 (b) Batı cephesinde farklı w/d oranlarındaki gölgeleme elemanlarının güneş etkinliklerinin gölge eğrileri üzerinde gösterilmesi

$$E_{\mathrm{v}} = 1 - \frac{\mathrm{w_v}}{\mathrm{d_v}} \cdot \sin \beta_{\mathrm{v}} \cdot 100\% \qquad \text{(A.4)}$$

$$E_{\mathrm{v}} = 1 - \frac{1{,}06}{0{,}75} \cdot \sin 45 \cdot 100\% \cong \%1 \qquad \text{(A.5)}$$

w'nin 1,06m ve d'nin 0,75m olması durumunda E_v %1 hesaplanmıştır.

$$E_{\mathrm{v}} = 1 - \frac{0{,}75}{0{,}75} \cdot \sin 45 \cdot 100\% = \%29 \quad \text{(A.6)}$$

w'nin 0,75m ve d'nin 0,75m olması durumunda E_v %29 hesaplanmıştır.

EK-B

OLUŞTURULAN SENARYOLARIN ENERJİ PERFORMANS ANALİZLERİNDE SİSTEMLERE GÖRE BİNANIN KWH TÜRÜNDEN ENERJİ TÜKETİMİ

%100 saydamlık oranındaki binanın enerji tüketimi;

%100 saydamlık oranındaki binanın çalışılan illerde sistemlere göre kWh türünden enerji tüketimi verilmiştir.

- İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın enerji tüketimi:

Çizelge A. 1 Sistemlere göre İstanbul'daki %100 saydamlık oranındaki binanın kWh türünden enerji tüketimi

Toplam enerji tüketimi	283472,44 kWh
Isıtma	31181,02 kWh
Soğutma	190907,72 kWh
İç mekan aydınlatması	11041,85 kWh
İç mekan ekipmanları	50280,45 kWh
Su sistemleri	61,40 kWh

- Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın enerji tüketimi:

Çizelge A. 2 Sistemlere göre Antalya'daki %100 saydamlık oranındaki binanın kWh türünden enerji tüketimi

Toplam enerji tüketimi	308349,60 kWh
Isıtma	2568,85 kWh
Soğutma	245316,96 kWh
İç mekan aydınlatması	10158,51 kWh
İç mekan ekipmanları	50244,12 kWh
Su sistemleri	61,16 kWh

Referans binanın enerji tüketimi;

Referans binanın çalışılan illerde sistemlere göre kWh türünden enerji tüketimi verilmiştir.

- İstanbul'daki referans binanın enerji tüketimi:

Çizelge A. 3 Sistemlere göre İstanbul'daki referans binanın kWh türünden enerji tüketimi

Toplam enerji tüketimi	179244,73 kWh
Isıtma	29649,64 kWh
Soğutma	87010,09 kWh
İç mekan aydınlatması	12243,15 kWh
İç mekan ekipmanları	50280,45 kWh
Su sistemleri	61,40 kWh

- Antalya'daki referans binanın enerji tüketimi:

Çizelge A. 4 Sistemlere göre Antalya'daki referans binanın kWh türünden enerji tüketimi

Toplam enerji tüketimi	190927,87 kWh
Isıtma	3346,69 kWh
Soğutma	126645,75 kWh
İç mekan aydınlatması	10630,15 kWh
İç mekan ekipmanları	50244,12 kWh
Su sistemleri	61,16 kWh

Gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın enerji tüketimi;

Gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın çalışılan illerde sistemlere göre kWh türünden enerji tüketimi verilmiştir.

- İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın enerji tüketimi:

Çizelge A. 5 Sistemlere göre İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın kWh türünden enerji tüketimi

Toplam enerji tüketimi	155619,35 kWh
Isıtma	38458,10 kWh
Soğutma	52316,50 kWh
İç mekan aydınlatması	14502.90 kWh
İç mekan ekipmanları	50280,45 kWh
Su sistemleri	61,40 kWh

- Antalya'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın enerji tüketimi:

Çizelge A. 6 Sistemlere göre Antalya'daki gölgeleme elemanlarının kullanıldığı binanın kWh türünden enerji tüketimi

Toplam enerji tüketimi	156044,59 kWh
Isıtma	10726,47 kWh
Soğutma	82794,57 kWh
İç mekan aydınlatması	12218,27 kWh
İç mekan ekipmanları	50244,12 kWh
Su sistemleri	61,16 kWh

Gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın enerji tüketimi;

Gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın çalışılan illerde sistemlere göre kWh türünden enerji tüketimi verilmiştir.

- İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın enerji tüketimi:

Çizelge A. 7 Sistemlere göre İstanbul'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın kWh türünden enerji tüketimi

Toplam enerji tüketimi	154920,46 kWh
Net enerji tüketimi	137912,81 kWh
Isıtma	38542,32 kWh
Soğutma	50885,99 kWh
İç mekan aydınlatması	15150,30 kWh
İç mekan ekipmanları	50280,45 kWh
Su sistemleri	61,40 kWh

- Antalya'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın enerji tüketimi:

Çizelge A. 8 Sistemlere göre Antalya'daki gölgeleme elemanlarının PV sistemle oluşturulduğu binanın kWh türünden enerji tüketimi

Toplam enerji tüketimi	154813.36 kWh
Net enerji tüketimi	132152,10 kWh
Isıtma	10974,47 kWh
Soğutma	80743,90 kWh
İç mekan aydınlatması	12789,71 kWh
İç mekan ekipmanları	50244,12 kWh
Su sistemleri	61,16 kWh

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdullah Umur GÖKSU

Doğum Tarihi ve Yeri : 20 Ocak 1992, İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : umurgoksu@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	İstanbul Üsküdar Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012 -2012	Rena İnşaat	Stajer
2011 - 2011	Can Ege Mimarlık	Stajer

YAYINLARI

Bildiri

1. Göksu, A., U. ve Zorer Gedik, G. (2016). “PV Sistemlerin Gölgelendirme Elemanı Olarak Kullanımının Ofis Binası Örneğinde Değerlendirilmesi”, 2.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 04-06 Mayıs 2016, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.