

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖLGELEME BİLEŞENİ OLARAK KULLANILAN FOTOVOLTAİK
PANELLERİN ENERJİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seval TURHAN CER

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖLGELEME BİLEŞENİ OLARAK KULLANILAN FOTOVOLTAİK
PANELLERİN ENERJİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Seval TURHAN CER
(502091548)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İkbâl ÇETİNER

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502091548 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **SEVAL TURHAN CER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GÖLGELEME BİLEŞENİ OLARAK KULLANILAN FOTOVOLTAİK PANELLERİN ENERJİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. İkbal ÇETİNER**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Rana KUTLU**

Kültür Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Fatih YAZICIOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **12 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **20 Ocak 2015**

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince sabrını, desteğini ve güleryüzünü hiçbir zaman esirgemedi, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. İkbâl ÇETİNER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Benimle beraber gülüp benimle beraber ağlayan, hakkı ödenmez sevgili annem Nihal TURHAN'a, koşulsuz şartsız her kararımın arkasında duran ve her sendelediğimde kolumdan tutup bana sonsuz güven hissi veren sevgili babam Ahmet Mesut TURHAN'a, enerjisiyle beni yükselten canımın içi abime, çalışmam süresince beni sabırla destekleyen ve yardımcı olan sevgili eşime ve ailesine, sonsuz toleransıya beni motive eden sevgili yöneticim Saffet KAYA'ya, desteğini eksik etmeyen tüm akrabalarım ve dostlarıma en içten dileklerle teşekkür ederim.

Aralık 2014

Seval TURHAN CER
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ..... | v |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| KISALTMALAR | ix |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | xi |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | xiii |
| ÖZET..... | xvii |
| SUMMARY | xix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Sorun | 1 |
| 1.2 Amaç | 2 |
| 1.3 Kapsam..... | 3 |
| 1.4 Yöntem | 4 |
| 2. GÜNEŞ ENERJİSİ | 5 |
| 2.1 Dünyada Güneş Enerjisinin Yenilenebilir Enerji İçindeki Yeri ve Önemi | 5 |
| 2.2 Türkiye’deki Güneş Enerjisi Potansiyeli..... | 8 |
| 2.3 Güneş Enerjisinden Faydalanan Sistemler | 12 |
| 2.3.1 Pasif sistemler | 12 |
| 2.3.2 Aktif sistemler | 15 |
| 2.4 Türkiye ve Dünyadaki Fotovoltaik Sistem Kullanımı | 17 |
| 2.5 Bölüm Sonucu | 19 |
| 3. FOTOVOLTAİK | 21 |
| 3.1 Fotovoltaiklerin Tarihsel Gelişimi | 21 |
| 3.2 Fotovoltaiklerin Yapısı ve Çalışması | 22 |
| 3.3 Fotovoltaik Panel Üretimi | 24 |
| 3.4 Fotovoltaik Sistem Bileşenleri | 25 |
| 3.4.1 Fotovoltaik hücreler | 26 |
| 3.4.1.1 Kristal silisyum fotovoltaik hücreler..... | 27 |
| 3.4.1.2 İnce film hücreler | 28 |
| 3.4.2 Aküler..... | 30 |
| 3.4.3 Şarj denetim birimleri | 30 |
| 3.4.4 Çeviriciler..... | 31 |
| 3.5 Fotovoltaik Sistem Türleri | 31 |
| 3.5.1 Şebeke bağlantılı sistemler..... | 32 |
| 3.5.2 Tekil (şebekeden bağımsız) sistemler | 34 |
| 3.6 Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Etkileyen Faktörler | 36 |
| 3.6.1 Konum..... | 37 |
| 3.6.2 Yönlendirme ve eğim açısı | 38 |
| 3.6.3 Gölgeleme | 39 |
| 3.6.4 Panel tipi | 42 |
| 3.6.5 Bakım ve temizlik | 43 |
| 3.6.6 Modüllerin arkasında oluşan sıcaklık | 44 |

| | |
|---|------------|
| 3.7 Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı..... | 45 |
| 3.7.1 Fotovoltaik panellerin çatıda kullanımı | 45 |
| 3.7.2 Fotovoltaik panellerin cephede kullanımı | 48 |
| 3.7.2.1 Fotovoltaik panellerin cephe elemanı olarak kullanımı | 49 |
| 3.7.2.2 Fotovoltaik panellerin gölgeleme bileşeni olarak kullanımı | 51 |
| 3.8 Bölüm Sonucu | 54 |
| 4. UYGULAMA..... | 57 |
| 4.1 Binaya İlişkin Verilerin Belirlenmesi..... | 58 |
| 4.1.1 Bina tipi ve modelinin belirlenmesi | 58 |
| 4.1.2 Bina çevresi ve kullanıcı özelliklerinin belirlenmesi | 59 |
| 4.1.2.1 Dış ortam koşullarına ilişkin veriler..... | 59 |
| 4.1.2.2 İç ortam ve kullanıcıya ilişkin veriler..... | 61 |
| 4.1.3 Bina cephesine ilişkin veriler | 61 |
| 4.1.3.1 Katmanlaşma..... | 62 |
| 4.1.3.2 Fotovoltaik sistem | 66 |
| 4.2 Seçeneklerin Oluşturulması..... | 67 |
| 4.3 Çalışmada Kullanılan Benzetim Programlarının Tanıtılması..... | 71 |
| 4.3.1 Meteonorm | 71 |
| 4.3.2 Autodesk Ecotect Analysis..... | 72 |
| 4.3.3 Pvsol..... | 74 |
| 4.4 Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 75 |
| 4.4.1 Seçeneklerin ısıtma-soğutma enerjisi yüklerindeki değişimler açısından değerlendirilmesi..... | 75 |
| 4.4.2 Seçeneklerin fotovoltaik sistem performansındaki değişimler açısından değerlendirilmesi..... | 82 |
| 4.4.3 Seçeneklerin fotovoltaik sistemin ısıtma-soğutma enerjisi yüklerine etkisi açısından değerlendirilmesi..... | 89 |
| 4.5 Bölüm Sonucu | 91 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 95 |
| KAYNAKLAR..... | 97 |
| EKLER..... | 103 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 107 |

KISALTMALAR

| | |
|------------------------------|--|
| mtep | : Milyon Ton Petrol Eşdeğeri |
| MW | : Megawatt |
| LNG | : Sıvı Doğal Gaz |
| AB | : Avrupa Birliği |
| ABD | : Amerika Birleşik Devletleri |
| kWh | : Kilowatt saat |
| IEA | : International Energy Agency |
| OECD | : Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü) |
| TEP | : Ton Eşdeğer Petrol |
| Ppm | : Parts per million (Milyondabir) |
| UV | : Ultraviyole |
| kWh/m²-yıl | : Kilowatt-saat / metrekare-yıl |
| kWh/m²-gün | : Kilowatt-saat / metrekare-gün |
| GEPA | : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası |
| mm | : Milimetre |
| GW | : Gigawatt |
| PV | : Photovoltaic (Fotovoltaik) |
| W/m² | : Watt/metrekaire |
| °C | : Santigrat derece |
| AM | : Air Mass |
| DC | : Direct Current (doğru akım) |
| AC | : Alternative Current (alternatif akım) |
| m | : Metre |
| TSE | : Türk Standartları Enstitüsü |
| clo | : Kıyafet yalıtım direnci birimi |
| lüx | : Birim yüzeye düşen ışık akısı miktarı |
| ASHRAE | : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers |
| HVAC | : Heating Ventilation Air Conditioning |
| U | : Isı geçirgenlik katsayısı |
| U_D | : Dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı |
| U_T | : Tavanın ısı geçirgenlik katsayısı |
| U_t | : Zemine oturan döşemenin/tabanın ısı geçirgenlik katsayısı |
| U_P | : Pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı |
| Eps | : Expande Polistren |
| IWEC | : Türk Standartları Enstitüsü |
| epw | : EnergyPlus Weather Data |
| kWp | : KiloWatt Peak |

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1 : Bölgelere göre ışınım miktarı değerleri | 11 |
| Çizelge 2.2 : Güneş enerjisinden faydalanan sistemler | 12 |
| Çizelge 3.1 : Fotovoltaik hücre çeşitleri | 26 |
| Çizelge 3.2 : Fotovoltaik sistem türleri | 32 |
| Çizelge 3.3 : Güneş hücre malzemelerinin performans değerleri ve alan gereksinimleri | 42 |
| Çizelge 3.4 : PV Panel Arkasında Oluşan Ortalama Sıcaklık Değerleri | 44 |
| Çizelge 3.5 : Fotovoltaik panellerin binalarda kullanımı | 46 |
| Çizelge 4.1 : Bina cephesinde gölgeleme bileşeni olarak kullanılan fotovoltaik panellerin enerji etkinliklerinin değerlendirilmesinde uygulama adımları | 57 |
| Çizelge 4.2 : Binaya ilişkin verilerin belirlenmesinde izlenen yol | 58 |
| Çizelge 4.3 : Seçilen illerin bulunduğu iklim bölgeleri ve güneşlenme potansiyeli değerleri | 60 |
| Çizelge 4.4 : TS 825'e göre tavsiye edilen U değerleri | 62 |
| Çizelge 4.5 : Yapı elemanlarına ait malzeme özellikleri ve katmanlaşma modelleri | 63 |
| Çizelge 4.6 : Yapı elemanları için hesaplanan U değerleri ve ısı yalıtım malzemesi kalınlıkları | 65 |
| Çizelge 4.7 : Modellenen bina için belirlenen sabit ve değişken veriler | 68 |
| Çizelge 4.8 : Oluşturulan seçeneklerin kodları | 69 |
| Çizelge 4.9 : İzmir iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri | 76 |
| Çizelge 4.10 : İstanbul ili için elde edilen ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri | 77 |
| Çizelge 4.11 : Ankara iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri | 78 |
| Çizelge 4.12 : Van iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri | 80 |
| Çizelge 4.13 : Erzurum iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri | 81 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1 : Çalışma kapsamı | 3 |
| Şekil 2.1 : Bölgelere göre dünya enerji üretimi (Milyon TEP) | 5 |
| Şekil 2.2 : 2035 yılı enerji talebi öngörüsü..... | 6 |
| Şekil 2.3 : Spektral radyasyon miktarı ile dalga boyu arasındaki ilişki..... | 7 |
| Şekil 2.4 : Doğrudan, yaygın ve küresel(global) ışınım arasındaki ilişki..... | 8 |
| Şekil 2.5 : Dünya güneş ışınımı miktarı | 9 |
| Şekil 2.6 : Avrupa güneş ışınımı miktarı | 9 |
| Şekil 2.7 : Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) | 10 |
| Şekil 2.8 : (a)Türkiye'nin ortalama global ışınım değerlerinin aylara göre dağılımı kWh/m ² -gün (b) Türkiye'nin ortalama günlük güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı saat | 11 |
| Şekil 2.9 : Güneş enerjisinden pasif olarak yararlanmada kullanılan doğrudan kazanımlı sistemlerinin çalışma prensibi | 13 |
| Şekil 2.10 : Güneş enerjisinden pasif yöntemle faydalanmada kullanılan dolaylı kazanım sistemlerinin çalışma prensibi | 14 |
| Şekil 2.11 : Güneş enerjisinden pasif yöntemle faydalanmada kullanılan izole edilmiş sistemlerin çalışma prensibi | 15 |
| Şekil 2.12 : Güneş enerjisinden pasif yöntemle faydalanmada kullanılan dolaşım halkası sistemlerin çalışma prensibi | 15 |
| Şekil 2.13 : Güneş kollektörünün yapısı..... | 16 |
| Şekil 2.14 : Güneş kollektörlerinin binalarda su ısıtma amaçlı kullanılması | 17 |
| Şekil 2.15 : Dünya'da fotovoltaik kurulu gücünün 2000-2012 yılları arasındaki değişimi | 18 |
| Şekil 2.16 : Avrupa'da fotovoltaik kurulu gücünün 2000-2012 yılları arasındaki değişimi | 18 |
| Şekil 3.1 : Fotovoltaik pilin yapısı..... | 23 |
| Şekil 3.2 : Fotovoltaik pilin çalışması | 23 |
| Şekil 3.3 : Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi ilişkisi | 24 |
| Şekil 3.4 : Fotovoltaik Panel Üretimi | 24 |
| Şekil 3.5 : Fotovoltaik panel katmanları | 25 |
| Şekil 3.6 : Fotovoltaik hücrelerin pazar payı | 27 |
| Şekil 3.7 : Monokristal fotovoltaik hücreler..... | 28 |
| Şekil 3.8 : Polikristal fotovoltaik hücreler | 28 |
| Şekil 3.9 : İnce film fotovoltaik hücreler | 29 |
| Şekil 3.10 : Akü | 30 |
| Şekil 3.11 : Şarj denetim birimi | 31 |
| Şekil 3.12 : Çevirici | 31 |
| Şekil 3.13 : Şebeke bağlantılı sistem çalışma diyagramı..... | 33 |
| Şekil 3.14 : Şebeke bağlantılı sistemde adalanma sorunu | 33 |
| Şekil 3.15 : Şebeke bağlantılı sistemde aşırı gerilim sorunu | 34 |
| Şekil 3.16 : Fotovoltaik panellerin su pompası için kullanımı | 35 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.17 : Tekil (şekeden bağımsız) sistemlerin çalışma diyagramı..... | 35 |
| Şekil 3.18 : Enerji depolayan sistemlerin küçük uygulama alanı örnekleri..... | 36 |
| Şekil 3.19 : Hibrid sistem uygulaması | 36 |
| Şekil 3.20 : Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası | 37 |
| Şekil 3.21 : Güneş'in eğim açıları | 38 |
| Şekil 3.22 : Fotovoltaik sistemlerle ilgili önemli açılar | 39 |
| Şekil 3.23 : Fotovoltaik panellerin diğer binalar tarafından gölgelenmesi..... | 40 |
| Şekil 3.24 : Fotovoltaik panellerin diğer ağaçlar tarafından gölgelenmesi | 40 |
| Şekil 3.25 : Fotovoltaik paneller arasında bırakılması gereken mesafe | 41 |
| Şekil 3.26 : Panellerin birbirini gölgelemesi | 41 |
| Şekil 3.27 : Panellerin bacalar tarafından gölgelenmesi..... | 42 |
| Şekil 3.28 : Panellerin üzerinin toz ya da kar ile kapanması | 43 |
| Şekil 3.29 : Panel yüzeyinin su ve fırça yardımıyla temizlenmesi | 43 |
| Şekil 3.30 : Düz çatıda fotovoltaik panel uygulaması | 47 |
| Şekil 3.31 : Panellerin eğimli çatı yüzeyinde ızgaralar üzerine yerleştirilmesi..... | 47 |
| Şekil 3.32 : Fotovoltaik panellerin çatı kiremitlerinin arasına yerleştirilmesi..... | 48 |
| Şekil 3.33 : Iızgaralı sistemlerde panel arka yüzeyinin havalandırılması..... | 48 |
| Şekil 3.34 : Fotovoltaik paneller ile giydirme cephe uygulaması..... | 49 |
| Şekil 3.35 : Fotovoltaik panellerin yağmur perdesi cephe sisteminde kullanımı | 50 |
| Şekil 3.36 : Tüm cephe yüzeyine uygulama | 50 |
| Şekil 3.37 : Cephe yüzeyine aralıklı olarak uygulama | 51 |
| Şekil 3.38 : Bina cephesine yarı geçirgen panellerin uygulanması | 51 |
| Şekil 3.39 : Fotovoltaik panellerin sabit gölgeleme bileşeni olarak kullanımı..... | 52 |
| Şekil 3.40 : Fotovoltaik panellerin hareketli gölgeleme bileşeni olarak kullanımı ... | 52 |
| Şekil 3.41 : Fotovoltaik panellerin yatay gölgeleme bileşeni kullanımı..... | 53 |
| Şekil 3.42 : Fotovoltaik panellerin düşey gölgeleme bileşeni kullanımı..... | 53 |
| Şekil 3.43 : Fotovoltaik paneller ile yarı geçirgen saçak bileşeni uygulaması | 54 |
| Şekil 4.1 : Model ofis binası şematik tip kat planı ve kesiti | 59 |
| Şekil 4.2 : Tse 825 derece gün bölgelerine göre seçilen şehirler | 60 |
| Şekil 4.3 : GEPA'ya göre seçilen iller | 60 |
| Şekil 4.4 : Yıllık çalışma takvimi | 62 |
| Şekil 4.5 : (a) Fotovoltaik panellerin cephede yerleşimi (b)Fotovoltaik panellerin kat planında yerleşimi | 66 |
| Şekil 4.6 : Fotovoltaik panellerin yüzey eğim açıları | 66 |
| Şekil 4.7 : Kullanılan fotovoltaik panellerin mekanik özellikleri | 67 |
| Şekil 4.8 : Benzetim için oluşturulan seçenekler | 69 |
| Şekil 4.9 : Meteonorm arayüzü | 72 |
| Şekil 4.10 : Autodesk Ecotect Analysis | 73 |
| Şekil 4.11 : Pvsol | 74 |
| Şekil 4.12 : İzmir iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri | 76 |
| Şekil 4.13 : İstanbul iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri..... | 77 |
| Şekil 4.14 : Ankara iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri | 78 |
| Şekil 4.15 : Van iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri | 80 |
| Şekil 4.16 : Erzurum iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri..... | 81 |
| Şekil 4.17 : Tüm seçenekler için elde edilen enerji (ısıtma ve soğutma yükleri toplamı) yükleri | 83 |
| Şekil 4.18 : İzmir ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı | 84 |
| Şekil 4.19 : İstanbul ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı | 85 |
| Şekil 4.20 : Ankara ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı | 85 |
| Şekil 4.21 : Van ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı | 86 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.22 : Erzurum ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı | 87 |
| Şekil 4.23 : Tüm seçenekler için elde edilen fotovoltaik sistem enerji üretimi miktarları | 88 |
| Şekil 4.24 : İzmir ili için hesaplanan fayda oranları | 89 |
| Şekil 4.25 : İstanbul ili için hesaplanan fayda oranları..... | 89 |
| Şekil 4.26 : Ankara ili için hesaplanan fayda oranları..... | 90 |
| Şekil 4.27 : Van ili için hesaplanan fayda oranları | 90 |
| Şekil 4.28 : Erzurum ili için hesaplanan fayda oranları..... | 91 |
| Şekil 4.29 : Tüm seçenekler için hesaplanan fayda oranları | 92 |

GÖLGELEME BİLEŞENİ OLARAK KULLANILAN FOTOVOLTAİK PANELLERİN ENERJİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Toplumlar yaşamlarını sürdürebilmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Hızla artan nüfustan doğan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için büyük ölçüde fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların neden olduğu hava kirliliği, küresel ısınma, canlı türlerinin zarar görmesi gibi çevresel etkiler, günümüzde alternatif enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir. Güneş tükenmeyen, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir ve Türkiye güneş potansiyeli açısından dünyadaki en şanslı ülkelerden birisidir. Güneş enerjisinden faydalanmakta kullanılan teknolojilerden birisi olan fotovoltaik sistemler ise dünyada günden güne yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, fotovoltaik sistemlerin binalarda gölgeleme bileşeni olarak kullanımına yönelik kullanıcı ve tasarımcılara yol gösterebilecek bir rehber oluşturmaktır. Bu doğrultuda çalışmanın hazırlanmasında kaynak taraması ve bilgisayar ile benzetim yöntemleri birlikte kullanılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde; çalışmanın amaç, kapsam ve yöntemine dair bilgilerin verildiği giriş kısmı yer almaktadır.

İkinci bölümde; güneşin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki önemi, Türkiye ve dünyadaki güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyeli değerlendirebilmek amacıyla kullanılan sistemler anlatılmış, bunlardan birisi olan fotovoltaik sistemlerin ülkemizde ve diğer ülkelerde kullanım miktarlarına değinilmiştir.

Üçüncü bölümde; fotovoltaik sistemlerin tarihçesi, yapısı ve çalışması, bileşenleri, üretim yöntemleri ve sistem türleri incelenmiş, binalarda kullanım şekilleri üzerinde durularak, sistem performansına etki eden parametreler ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde; benzetim yolu ile yapılan uygulama çalışması yer almaktadır. Öncelikle benzetimde kullanılacak bina modeli tasarlanarak bu model için sabit ve değişken veriler belirlenmiştir. Daha sonra değişken veriler doğrultusunda seçenekler

oluşturulmuştur. Seçenekler için benzetim yoluyla elde edilen sonuçlar değerlendirilerek grafikler yardımıyla sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise; uygulama bölümünde elde edilen sonuçlar doğrultusunda, fotovoltatik sistemlerin yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini kullanarak enerji ihtiyacını karşılamada önemli zmler sağlayabileceği ortaya koyulmuştur. Dünyada birçok rneğine rastlanmasına rağmen ülkemizde henz yeterince yaygınlaşmamış olan fotovoltatik sistemlerin enerji ihtiyacına sağladığı faydalar gz önünde bulundurularak kullanımının yaygınlaşması doğrultusunda teşvik edilmelidir.

EVALUATING THE ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PANELS USED AS SHADING DEVICES

SUMMARY

Modern societies need energy to satisfy needs such as protection, security, and housing. Fossil fuels are used to meet this energy demand created by a soaring population. But as we all know, fossil fuels are limited and will be extinct in the near future. Also, using fossil fuels causes emission of greenhouse gases such as carbon dioxide, sulfur dioxide, and nitrous oxide. The rapid increase of fossil fuel consumption creates dust and soot which in turn cause environmental pollution that results in deaths; and emission of carbon dioxide and greenhouse gases ruin the ecosystem, causing climate changes that are threatening life itself on the entire planet. Therefore, heading towards alternative energy sources is almost obligatory.

Our country has fossil fuel resources like hard coal, lignite, asphaltite, crude oil, natural gas, uranium, and thorium; and potential renewable sources like hydraulic energy, geothermal energy, solar energy, sea wave energy, and biomass energy. The sun is an endless, eco-friendly renewable energy source, and when it comes to solar energy, Turkey is one of the luckiest countries in the world. One of the technologies for benefiting from solar energy is a photovoltaic system, and it's becoming widespread day by day.

The purpose of this study is to create a guide for both consumers and designers, referring to the usage of photovoltaic systems as shading components on buildings. For preparation of this study, literature review and computer simulation methods are used accordingly.

This study consists of five sections. First section contains the introduction part, where the purpose, extent and the method of the study are presented.

In the second section, the importance of the sun as a renewable energy source, solar energy potential in Turkey and in the world, and the systems being used for realizing this potential are explained; and as one of these systems, amount of usage of photovoltaic systems in our country and other countries are mentioned.

In the third section, history, structure and working, components, production methods and types of photovoltaic systems were examined, and by emphasizing how these systems were used on buildings, the parameters affecting the system performance were discussed.

Fourth section contains the application study by simulation method. Steps of this study are as follows:

- Fixed and variable data are determined for the building model to be used in the simulation.
- Fixed data: The modeled building is assumed to be used as an open office. It's square shaped with the dimensions of 24x24 meters, and consists of 10 floors. Each floor has a height of three meters. Total construction area is 5.760 square meters. A total of 290 people work in the building and working hours are between 08.00 and 17.00 on weekdays. An air conditioning system is used for heating and cooling the building, and the air is ventilated naturally. Heating system is activated if indoor temperature drops below 220, and cooling system is activated if indoor temperature rises above 260. The photovoltaic panels are made of polycrystalline silicon cells and 130 panels with 260Wp power are used. The installed power of the system is 33,8kWp.
- Variable data: Five provinces are selected for the building location. These provinces are İzmir, İstanbul, Ankara, Van, and Erzurum. For the facade, directions of north, south, east and west are examined. Preferred inclination angles of photovoltaic panel are 0⁰ and 30⁰.
- 45 different alternatives are created using variable data.
- Computer programs are selected to be used in the simulation.
- Climate data of the provinces are gathered by Meteonorm; energy loads needed for the alternatives are calculated by Ecotect; and energy levels obtained by the photovoltaic panels are measured by Pvsol.
- Simulation results for the created alternative are evaluated.
- Evaluation of the results are explained by charts and comparisons under three major topics: necessary heating and cooling loads, PV system performance, and determining the benefit ratio of the PV system to the heating and cooling loads.

After these evaluations, it can be argued that the location variable for the highest ratio is İzmir, the direction variable is south, and the inclination angle is 30^0 .

The fifth and the final section argues that based on the simulation and the results of the simulation, photovoltaic systems can be an important solution for meeting the energy demand by using solar energy, one of the renewable energy sources. Although photovoltaic systems have lots of applications in the world, they failed to gain enough popularity in our country, and considering their benefits of fulfilling the energy demands their use should be more encouraged.

1. GİRİŞ

1.1 Sorun

Günümüzde dünya enerji tüketim talebinin %81'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır [1]. Ancak fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olduğu ve gelecekte tükeneceği hepimizce bilinen bir gerçektir. Ayrıca fosil yakıtların kullanımı sonucu atmosfere karbondioksit, kükürt dioksit, azot gibi sera gazları yayılmaktadır. İklim değişikliğinin ana sebebi olarak görülen bu gazlardan en önemlisi karbondioksit olarak belirtilmekte ve dünyada enerji tüketimine bağlı karbondioksit salımının 2008–2035 döneminde 30,2 milyar tondan %43'lük bir artış ile 43,2 milyar tona yükseleceği öngörülmektedir [2]. Hızla artan fosil yakıt tüketimi sonucunda oluşan toz ve kurum çevre kirliliğine yol açarak ölümlere sebep olurken, karbondioksit ve benzeri sera gazlarının salımı ekosistemi tahrip etmekte, iklim değişikliğine neden olmakta ve tüm dünyada yaşamı tehdit etmektedir.

Ülkemizde, taşkömürü, linyit, asfalsit, ham petrol, doğal gaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynaklar ile hidrolik, jeotermal, güneş, deniz dalga, biokütle gibi tükenmez enerji kaynağı potansiyelleri bulunmaktadır. Türkiye'deki birincil enerji tüketimi 2007 yılı verilerine göre 107 mtep (milyon ton petrol eşdeğeri) iken, artan nüfus ve gelişime bağlı olarak bu miktarın 2020 yılında 222mtep'e çıkması öngörülmektedir [3]. Tüketimin dağılım alanlarına bakıldığında; ilk sırada sanayi, ikinci sırada ise sanayiye oldukça yakın tüketim oranıyla binalar yer almaktadır. Binalarda en çok tüketilen enerji kaynağı doğal gaz iken ikinci sırada ise elektrik enerjisi yer almaktadır. İkincil enerji kaynağı olan ve tüketimi yıllara göre düzenli olarak artış gösteren elektrik enerjisinin, Türkiye'de kurulu gücü, 2011 sonu verilerine göre 53.235 MW'a ulaşmıştır. Elektrik enerjisi kurulu gücünün %30,6'sını doğal gaz ve LNG'ye dayalı, %23,2'sini kömüre dayalı santraller oluşturmaktadır [2]. 2012 Enerji Raporu'nda son yıllarda enerji sektörü içerisinde sera gazı emisyonlarından en fazla sorumlu olan sektörün, elektrik enerjisi sektörü olduğu açıklanmıştır [4]. Bu durum tüm dünya ile birlikte ülkemizde de enerji verimliliğine

yönelik çalışmaların hız kazanması gerekliliğini ortaya koymuştur. Amerika Birleşik Devletleri enerji verimliliği konusunun önemini ilk fark eden ülkelerden biri olmuş ve 1970’li yıllardan itibaren artan bir ivme ile bu konunun üzerine gitmiştir. Avrupa Birliği (AB) ülkeleri de 1970’li yıllardan bu yana enerji verimliliği alanında yatırımlar yapmaya başlamıştır. Ülkemizde ise bu alandaki çalışmalar 2000 yılında hız kazansa da, ilk adım 2007 yılının mayıs ayında 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu’nun Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmesi ile atılmıştır. Bunu takip eden 2008 yılı, “enerji verimliliği yılı” olarak ilan edilmiş ve 2008 Aralık ayında yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda kullanımına dikkat çeken “Binalarda Enerji Performansı” yönetmeliği yayımlanmıştır. Son olarak 2012 yılında yayımlanan “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi” ile gelecekte Türkiye’nin enerji alanında izleyeceği yol belirlenmiştir. Tüm bu gelişmeler sonucunda, fotovoltaik sistemler gibi fosil yakıtlara ihtiyaç duymadan binanın enerji ihtiyacının tümünü ya da büyük kısmını karşılarken çevreye zarar vermeyen, doğa ile dost sistemler gündeme gelmiştir. Binaların çatı ve cephelerinde çeşitli şekillerde kullanılabilen bu sistemlerin ülkemizde henüz yeterince yaygınlaşmamasının en büyük nedenlerinden birisi maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Bugün bir fotovoltaik sistemin geri ödeme süresi ortalama 15-20 yıl civarındadır. Bu sorunun giderilmesi ve fotovoltaik sistemlerin ülkemizde yaygınlaşmasının sağlanabilmesi için devlet ve yerel yönetim desteğinin artması gerekmektedir.

2005 yılında yürürlüğe giren “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımı”na ilişkin kanun’da, 2010 yılında yapılan düzenlemeye göre güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde üretilen elektriğin fazlası devlete satılarak 13,3 ABD Doları cent/ kWh elde edilebilecektir. Bu ve benzeri gelişmelerle ülkemizde önümüzdeki yıllarda fotovoltaik sistem kullanımının yaygınlaşacağı öngörülebilir. Bu sistemlerin uygulanması ve bina ile bütünleştirilmesi alanında henüz pek tecrübe sahibi olmayan ülkemizde, fotovoltaik sistemden maksimum verimin elde edilebilmesi için binanın ilk tasarım sürecinden itibaren, sistemin binanın bir bileşeni olarak ele alınması ve uygulanması gerekmektedir.

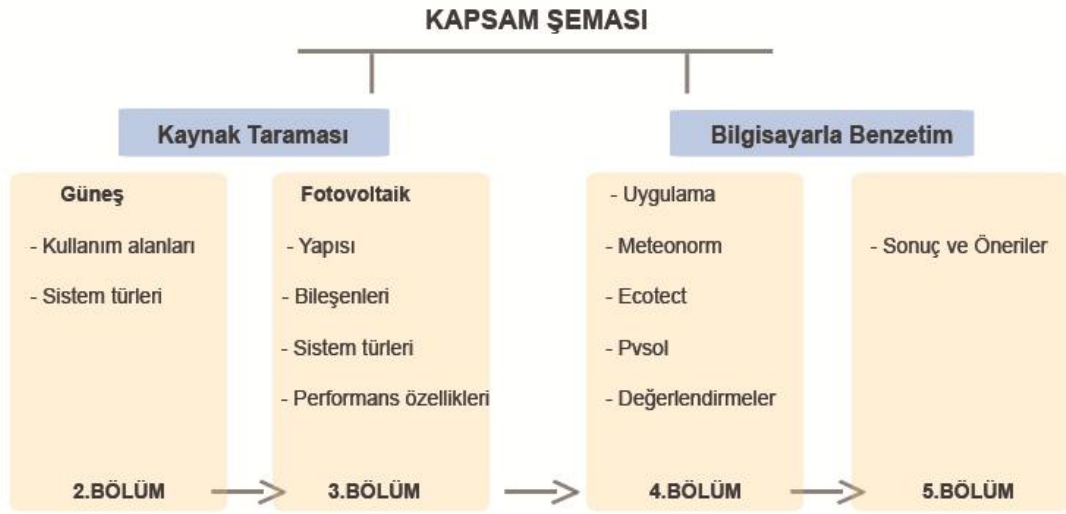
1.2 Amaç

Bu çalışmanın amacı Bölüm 1.1’de bahsedilen fosil yakıtların tüketiminden kaynaklanan sorunlara çözüm getirebilmek için, fotovoltaik sistemlerin bina

cephelerinde gölgeleme bileşeni olarak kullanılması durumunda binanın ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri üzerindeki etkisini belirlemek ve enerji ihtiyacının bir bölümünü çevreye zarar vermeden karşılayarak sağladığı faydaları göz önüne koymaktır. Elde edilen verilerin tasarımcı ve kullanıcılara yol gösterebilecek bir rehber oluşturacağı düşünülmektedir.

1.3 Kapsam

Çalışma; önemli bir alternatif enerji kaynağı olan güneşin dünyada ve ülkemizde kullanım potansiyelinin incelenmesi, güneşten faydalanılarak enerji üretiminde kullanılabilecek sistemlerin araştırılması, bu sistemlerden biri olan fotovoltaik sistemlerin incelenerek binalarda kullanımının ve performans özelliklerinin araştırılması ile bilgisayarla benzetim programları yardımıyla gölgeleme bileşeni olarak kullanılan fotovoltaik panellerin enerji etkinliklerinin değerlendirilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Bu süreç Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : Çalışma kapsamı.

Çalışma kapsamında fotovoltaik sistemlerin performansına etki eden; konum, yönlenme ve yüzey eğim açısı, gölgeleme, panel tipi, modül arkasında oluşan sıcaklık ile bakım ve temizlik kriterlerinden bahsedilmiş olup, yapılan benzetimde konum, yönlenme ve yüzey eğim açısı kriterleri değişken olarak ele alınmış ve diğer etkenler sabit olarak kabul edilmiştir.

1.4 Yöntem

Fotovoltaik sistemlerin gölgeleme elemanı olarak kullanımında enerji etkinliğin değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmada kaynak taraması ve bilgisayarla benzetim yöntemleri kullanılmıştır.

Kaynak taraması ile;

- Güneş enerjisinden bahsedilerek, ülkemizdeki ve dünyadaki potansiyeli analiz edilmiş,
- Fotovoltaik sistemlerin yapısı, çalışması ve sistem özellikleri belirlenerek,
- Uygulama çalışmasında kullanılacak olan fotovoltaik sisteme ve binaya ilişkin özelliklerine karar verilmiştir.

Bilgisayarla benzetim yöntemi ile ise;

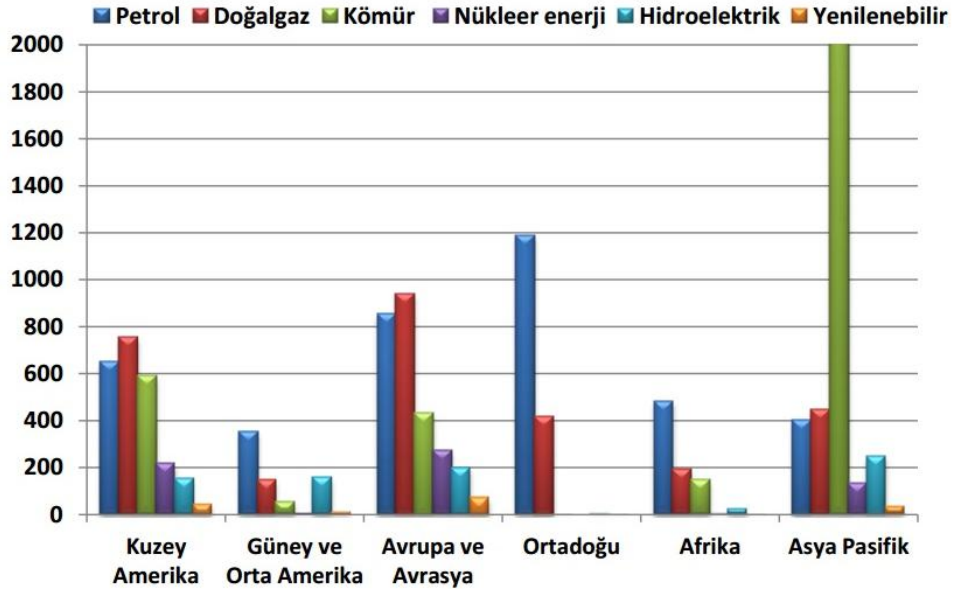
- Belirlenen binaya ilişkin verilere ve fotovoltaik sistem özelliklerine göre oluşturulan seçenekler üç benzetim programı kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir.
- Meteonorm ile iklim verileri elde edilmiş,
- Ecotect ile bina modellenerek ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri hesaplanmış,
- Pvsol ile ise fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı hesaplanmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1 Dünyada Güneş Enerjisinin Yenilenebilir Enerji İçindeki Yeri ve Önemi

Toplumların yaşamlarını sürdürebilmeleri için enerjiye ihtiyaçları vardır. İnsanların varoluşundan itibaren bu ihtiyacı karşılamak için çeşitli enerji kaynakları kullanılmıştır. Sanayileşme ile birlikte artan enerji talebine cevap verilebilmesi için kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların tüketimi artmıştır. 21. Yüzyıla gelindiğinde ise dünyadaki birçok ülkenin enerjiyi elde etme ve kullanma biçimi sürdürülebilir değildir. Enerji tüketiminin son 20 yılda %40 oranında arttığı dünyada, tüketilen enerjinin %81'i fosil yakıtlardan sağlanmaktadır [1].

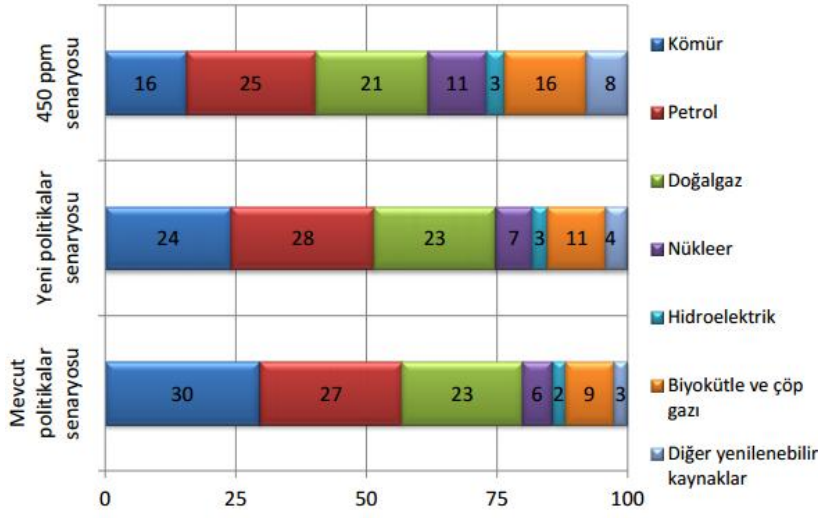
Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, dünyada petrolün %30'u Ortadoğu'da, doğal gazın %33'ü Avrupa ve Avrasya'da, kömürün %67'si Asya Pasifik'de, nükleer enerjinin %44'ü Avrupa ve Avrasya'da, hidro elektriğin %32'si Asya Pasifik'de, yenilenebilir enerjinin ise %44'ü Avrupa ve Asya'da üretilmektedir [5].



Şekil 2.1 : Bölgelere göre dünya enerji üretimi (Milyon TEP) [5].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA: International Energy Agency)'nın 2012 yılı raporunda, dünyadaki fosil yakıt tüketiminin geliştirilecek yeni politikalar ile 2035 yılında %75'e kadar düşürülebileceği belirtilmiştir. OECD ülkelerinde; 2010 yılında

5,6 milyar TEP olan dünya birincil enerji talebinin %3,5 oranında artarak 2030 yılında 5,8 milyar TEP'e ulaşması beklenmektedir. OECD üyesi olmayan ülkelerde ise; 2010 yılında 6,4 milyar TEP olan dünya birincil enerji talebinin %69 oranında artarak 2030 yılında 10,9 milyar TEP'e ulaşması öngörülmektedir [5]. Şekil 2.2'de, IEA tarafından öngörülmüş, mevcut politikalar, yeni politikalar ve 450ppm olmak üzere üç farklı senaryo için, 2035 yılında dünya enerji talebinin ulaşması beklenen değerler özetlenmiştir.



Şekil 2.2 : 2035 yılı enerji talebi öngörüsü [6].

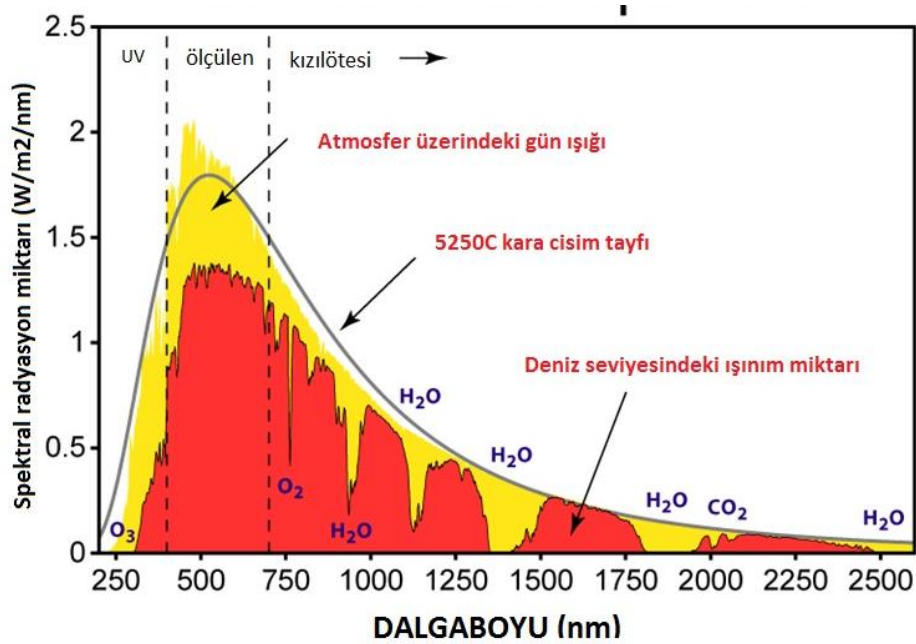
Fosil yakıtlardan atmosfere yayılan sera gazları, çağımızın ve geleceğin en büyük sorunlarından biri haline gelen küresel ısınmaya neden olmaktadır. Küresel ısınmayı önleyebilmenin tek yolu ise, tükenen ve kirlüten fosil yakıtlar yerine tükenmeyen ve çevre ile dost yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yönelmektir. Son yıllarda birçok ülkenin enerji politikalarında, yenilenebilir enerjiye teşvik çalışmaları hız kazanmıştır.

Dünyada yenilenebilir enerjinin birincil enerji tüketimi içindeki oranı 2011 yılı verilerine göre %16'dır [6]. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal ve biyokütledir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı, fosil ve hidrolik enerjinin de asıl kaynağı olan, güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, hidrojenin helyuma dönüşmesi sırasında ortaya çıkan enerjinin ışınım biçiminde uzaya yayılmasıdır. Dünyanın sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli, günümüzdeki dünya elektrik enerjisi talebinin ortalama 10.000 katı civarındadır [7].

Güneş enerjisi dünyanın gündüzleri doğrudan geceleri ise dolaylı olarak aydınlanmasını sağlamaktadır. Yine güneş enerjisi sayesinde yağışlar ile su döngüsü sağlanır ve fotosentez ile canlı yaşam sürdürülebilmektedir [7].

Güneş'in gücü yani bir saniyede güneş sistemine verdiği enerji, çok büyük olmasına karşın, atmosfer dışına ulaşan kısmı yalnızca küçük bir bölümdür. Atmosfer bu enerjinin %6'sını yansıtır, %16'sını da sönümler. Bulutlar gelen ışınımı, yansıtma suretiyle yaklaşık %20, sönümlenme suretiyle de yaklaşık %16 azaltırlar [8].

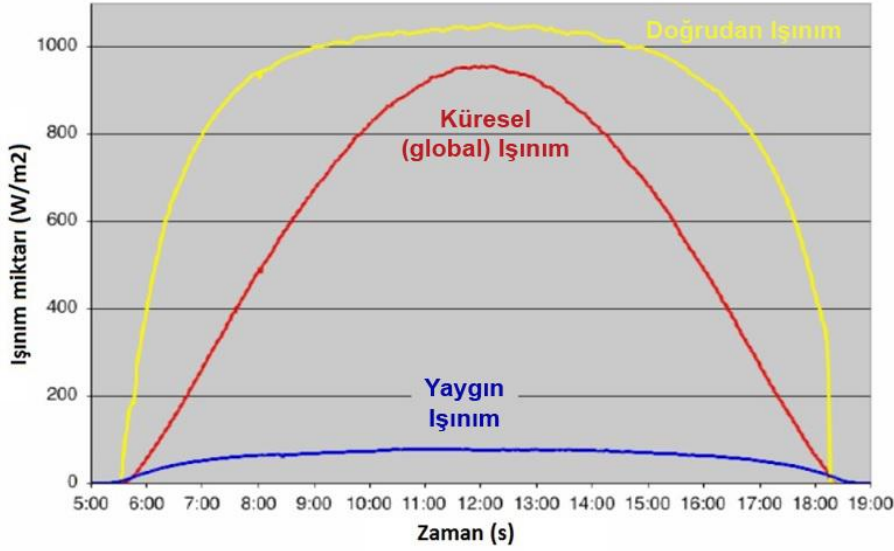
Güneşten yayılan farklı dalga boylarına sahip elektromanyetik ışınımın tamamı güneş spektrumu olarak adlandırılır. Güneş spektrumunda yer alan güneş ışınımı dalga boylarına göre ultraviyole (UV), ölçülen ve kızılötesi olarak sıralanabilir. Şekil 2.3 'de görüldüğü gibi UV ışınimleri en düşük dalga boyunda ve spektrumun dar bir alanında yayılmaktadır. Ölçülen ışınım UV ışınımından biraz daha yüksek dalga boyunda iken kızılötesi ışınlar dalga boyu en yüksek ve radyasyon miktarı en düşük olmaktadır [9].



Şekil 2.3 : Spektral radyasyon miktarı ile dalga boyu arasındaki ilişki [9].

Güneşten yatay yüzeye gelen ışınım, doğrudan ışınım ve yaygın ışınım olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrudan ışınım güneşten gelir. Yaygın ışınım ise atmosferden gelen, belirli bir doğrultusu ve yönü olmayan ışınımdır. Bulutsuz ve güneşli bir hava da bile belirli bir dalga boyundaki güneş ışınlarının bir kısmı atmosferden geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi gaz molekülleri tarafından

yutulur ve hava içerisindeki toz ve su buharı tarafından saçılır. Işınımın bu yutulan ve saçılan kısmı yaygın ışınımı meydana getirir. Eğik yüzeye gelen ışınım ise küresel (global) ışınım olarak adlandırılır [9]. Şekil 2.4’de doğrudan, yaygın ve küresel (global) ışınım arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 2.4 : Doğrudan, yaygın ve küresel(global) ışınım arasındaki ilişki [9].

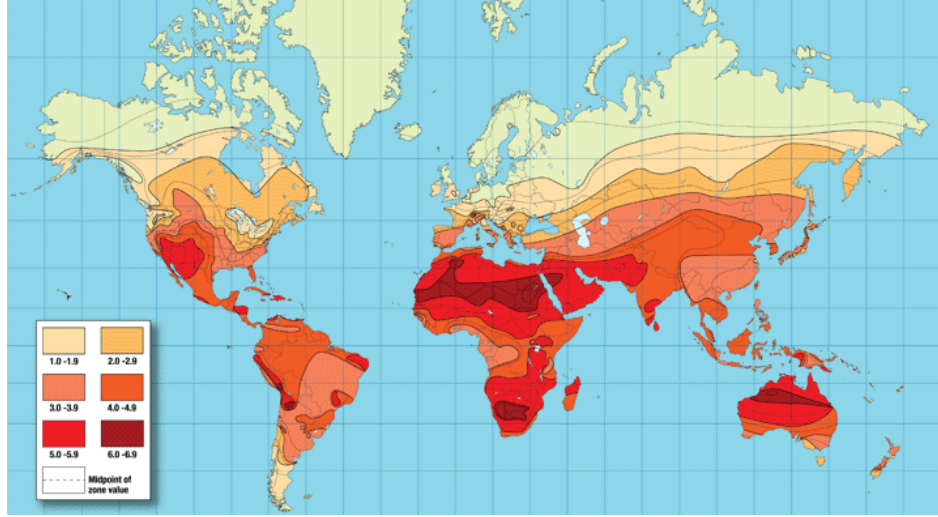
Dünya hem kendi çevresinde dönmekte hem de güneş çevresinde eliptik bir yörünge izlemektedir. Bu nedenle güneşten dünyaya gelen ışınım miktarı zamana göre değişim göstermektedir. Bu miktarın hesaplanmasında, o bölgenin dünya üzerindeki konumunu tanımlayan enlem ve boylam değerlerinin önemi büyüktür. Güneşten yeryüzüne gelen ışınım değeri ve bu değerın ölçümü yenilenebilir enerji üretiminde, güneş enerjisinden faydalanan sistemler için büyük önem taşır.

Dünyada teknoloji geliştikçe enerji ihtiyacının hızla artarak devam edeceği, günümüzde bilinen bir gerçektir. Bu nedenle dünyanın daha yaşanabilir bir yer olmasında katkı sağlayacak olan yenilenebilir enerji kaynakları da günden güne önem kazanmaktadır. Tükünmeyen enerjisi ile güneş ise yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli bir paya sahiptir. Gelişmiş dünya ülkelerinin her geçen günde güneş enerjisi ile çalışan sistemlere yaptıkları yatırımlar giderek artmaktadır.

2.2 Türkiye'deki Güneş Enerjisi Potansiyeli

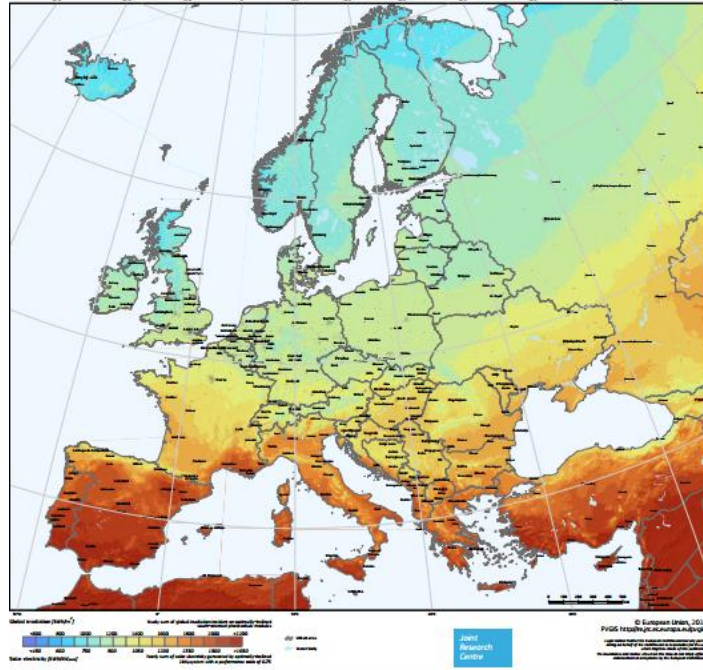
Dünyanın geoid şeklinden dolayı güneş ışınımı miktarı bölgeden bölgeye farklılık gösterir. Ekvator ve yakınlarındaki bölgeler güneş ışınımı açısından zengin

potansiyeye sahip iken, kutuplara yaklaştıkça bölgeye düşen ışınım miktarı azalmaktadır. Şekil 2.5’de, dünyanın farklı bölgelerindeki güneş ışınımı miktarı renklerle ifade edilmektedir. Koyu kırmızıdan açığa gidilikçe ışınım miktarı azalmaktadır. Buna göre; Arap Yarımadası, Afrika Kıtası, Avustralya Kıtası, Güney Amerika Kıtası’nın kuzey bölümleri ve ABD’nin batı bölgesi en yüksek güneş radyasyon değerlerine sahip yerlerdir.



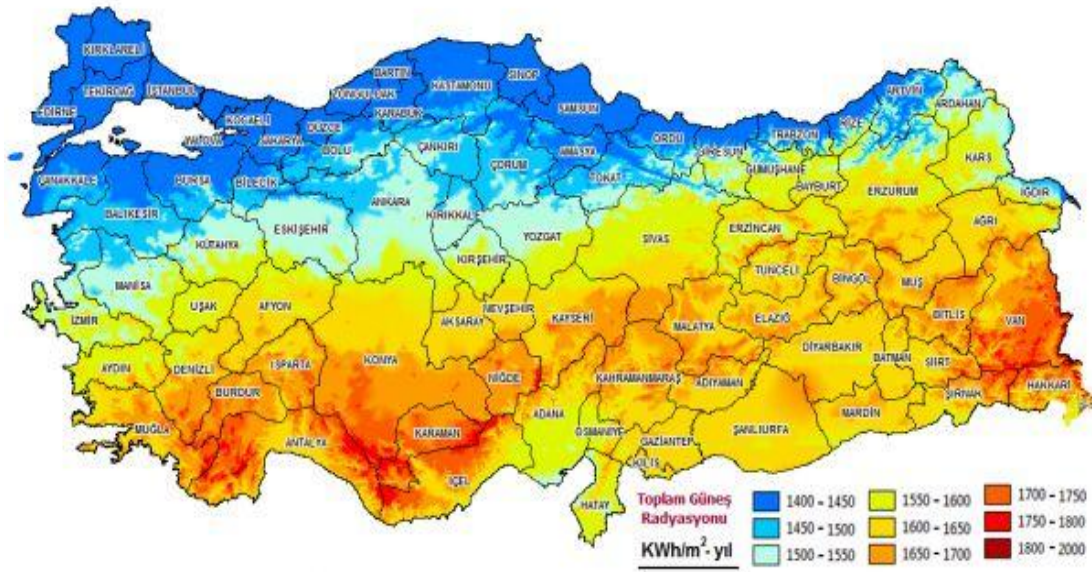
Şekil 2.5 : Dünya güneş ışınımı miktarı [7].

Şekil 2.6’ da görüldüğü gibi Avrupa’da ise en zengin güneş ışınımı değerlerine sahip ülkeler; Türkiye, Yunanistan, İtalya ve İspanya’dır.



Şekil 2.6 : Avrupa güneş ışınımı miktarı [10].

Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konum nedeniyle yıllık ortalama 2640 saatlik güneşlenme süresi ve ortalama 1311 kWh/m²-yıl toplam ışınım şiddeti ile güneş enerji potansiyeli en yüksek ülkeler arasında yer almaktadır [11]. Şekil 2.7’de Türkiye’nin bölgelere göre ışınım miktarları kırmızı, sarı ve mavi renklerle ifade edilmiştir. Koyu kırmızıdan maviye doğru gidildikçe ışınım miktarı azalmaktadır. Türkiye’nin güneş ışınım miktarı açısından yüksek potansiyele sahip bölgelerinden düşük potansiyele sahip bölgeleri sırasıyla; Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi, Marmara Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi’dir.



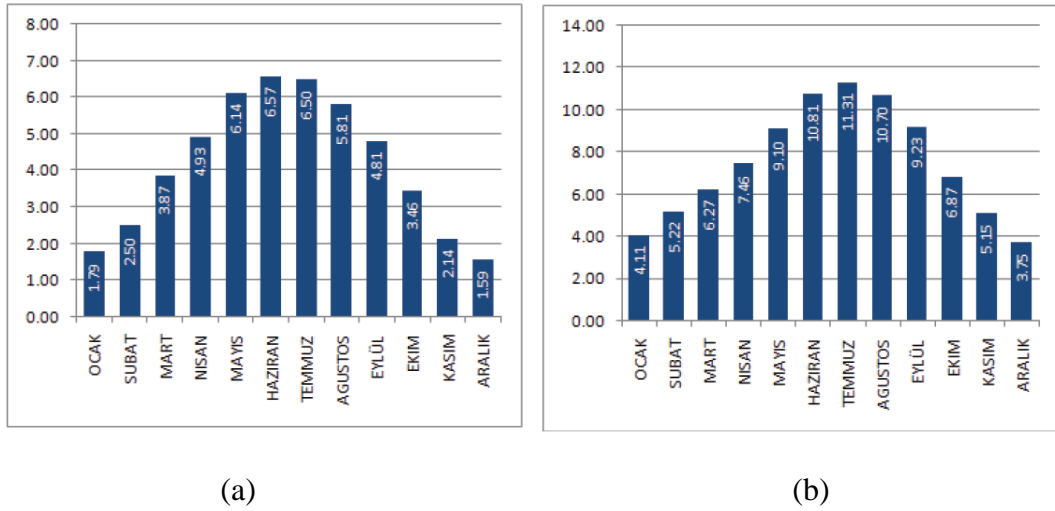
Şekil 2.7 : Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) [12].

Bölgelerin güneş enerjisi potansiyel değerlerinde, sahip olduğu enlem ve boylam dereceleri büyük önem taşır. Ayrıca bölgenin iklimsel özellikleri de bu konuda etkilidir. Örneğin en düşük güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Orta ve Doğu Karadeniz Bölgelerimiz ılımlı-nemli iklime sahiptir. Yağışlar nedeniyle atmosferdeki su buharı güneşten gelen ışınımı perdeleyerek ışınım miktarının düşmesine sebep olmaktadır. En yüksek ışınım potansiyeline sahip olan Güneydoğu Bölgemiz ise sert ve soğuk iklime sahiptir. Havadaki su buharı yoğunluğundan dolayı güneşten gelen ışınım miktarının perdelenmesi en aza inmektedir [13]. Çizelge 2.1’de tüm bölgelerin ışınım miktarı değerleri özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Bölgelere göre ışınım miktarı değerleri [14].

| Bölge | Toplam ortalama güneş enerjisi (kWh/m ²) | Ortalama güneşlenme süresi (saat/yıl) |
|-------------------|--|---------------------------------------|
| Güneydoğu Anadolu | 1.460 | 2.993 |
| Akdeniz | 1.390 | 2.956 |
| Doğu Anadolu | 1.365 | 2.664 |
| İç Anadolu | 1.314 | 2.628 |
| Ege | 1.304 | 2.738 |
| Marmara | 1.168 | 2.409 |
| Karadeniz | 1.120 | 1.971 |

Şekil 2.8 (a)'da verilen değerler Türkiye'nin global ışınım değerlerinin aylara göre dağılımını göstermektedir. Haziran, en yüksek global ışınım değerine sahip iken, Aralık ayı en düşük değere sahiptir. Türkiye'nin günlük ortalama ışınım şiddetinin 4.18 kWh/m²-gün olduğu görülmektedir. Şekil 2.8 (b)'de ise Türkiye'nin güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı verilmiştir. En uzun güneşlenme süresine sahip ay Temmuz iken, en düşük güneşlenme Aralık ayında gerçekleşmektedir. Ayrıca Türkiye'nin güneşlenme süresinin aylık ortalama 7.49 saat-gün, yıllık ise ortalama 2736,89 saat-yıl olduğu görülmektedir.



Şekil 2.8 : (a)Türkiye'nin ortalama global ışınım değerlerinin aylara göre dağılımı kWh/m²-gün (b) Türkiye'nin ortalama günlük güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı saat [12].

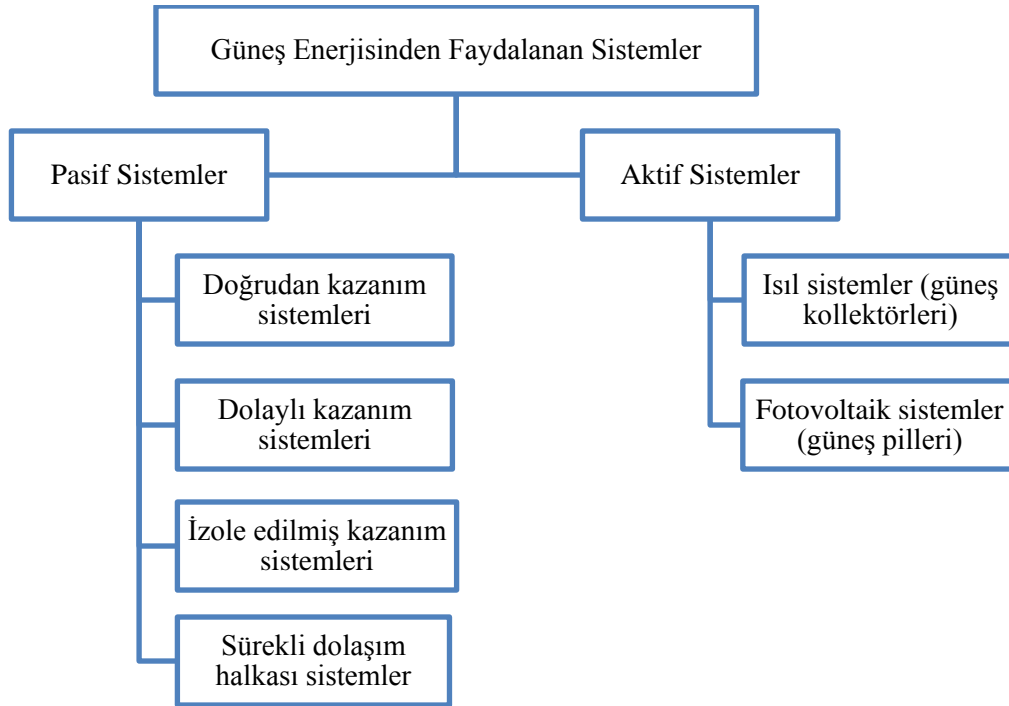
Tüm bu değerler Türkiye'nin güneş ışınımı açısından ne kadar zengin bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. 1998 yılında Türkiye'de güneş enerjisinden sağlanan enerjinin birincil enerji tüketimine katkısı 210 binTEP iken bu değer 2008 yılında

420 binTEP'e kadar arttırılmıştır. Ancak ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyeli düşünülduğünde bu değer oldukça yetersizdir. Son yıllarda güneş enerjisi potansiyelimizin değeri daha net anlaşılmış ve bu alandaki çalışmalar hız kazanmıştır.

2.3 Güneş Enerjisinden Faydalanan Sistemler

Binalarda kullanılan sistemleri, güneş enerjisinden faydalanma yönünden; aktif ve pasif sistemler olarak iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Pasif yöntemde binanın yönü, konumu, formu ve kabuğu uygun kriterlerde tasarlanarak güneşten faydalanılırken, aktif yöntemde kabuk ile bütünleşen bileşenler kullanılarak güneş ışığı depolanabilmekte ya da farklı bir enerji türüne dönüştürülebilmektedir [16]. Çizelge 2.2'de güneş enerjisinden faydalanan sistemler sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.2 : Güneş enerjisinden faydalanan sistemler.



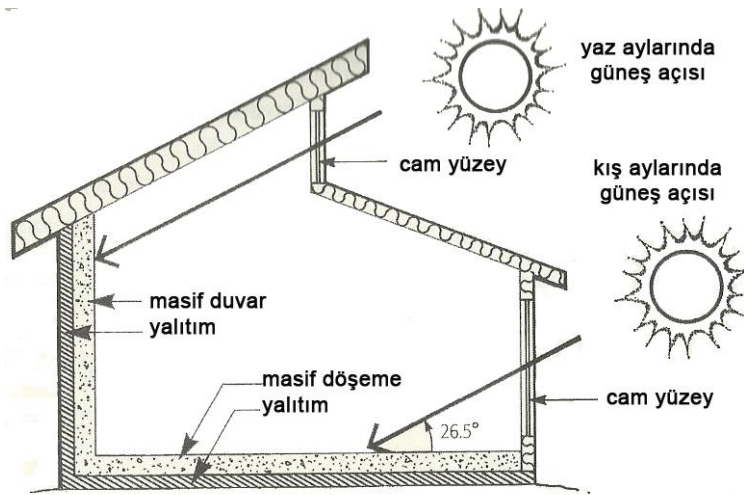
2.3.1 Pasif sistemler

Güneş enerjisinden faydalanmada kullanılan pasif sistemler, herhangi bir mekanik yada elektronik sistem kullanılmasına gerek duyulmadan, binaların ve içinde yaşayan insanların mevsimsel değişikliklere göre ihtiyaç duydukları ısı şartlarının optimize edilmesidir. Diğer bir deyişle, pasif sistemlerde yapı elemanları ilave enerji tüketimi

olmadan, güneş ışınımını toplama, depolama, muhafaza etme ve iletme yolları ile binanın ısı konforunun sağlanmasında ve enerji tasarrufunda katkı sağlarlar.

Pasif sistemleri; doğrudan kazanım sistemleri, dolaylı kazanım sistemleri, izole edilmiş kazanım sistemleri ve sürekli dolaşım halkası sistemler olarak dört gruba ayırmak mümkündür [17].

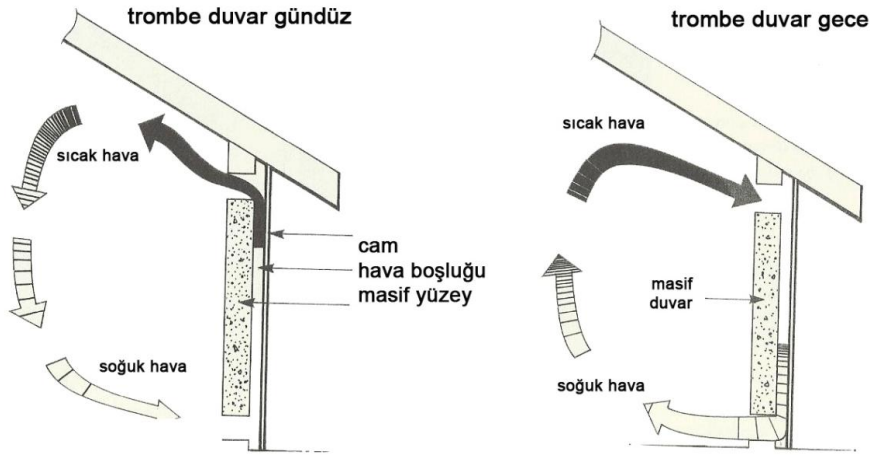
Doğrudan kazanım sistemlerinde, binanın var olan elemanları güneş enerjisi toplayıcısı gibi kullanıldığı için yapım maliyeti düşüktür ve uygulamasının kolay olması nedeniyle en yaygın olarak kullanılan pasif sistemlerden birisidir. Bu sistemlerde binanın güneşe yönelen pencerelerinden ya da saydam yapı kabuğu elemanlarından bina içine giren güneş ışınımı, döşemeler ve duvarlar tarafından emilerek depolanır. İç ortam sıcaklığının düştüğü zamanlarda depolanan güneş enerjisi termodinamik esaslarınca sıcaklığın yüksek olduğu ortamdaki sıcaklığın düşük olduğu ortama doğru hareket eder ve bu alanın ısınması sağlanmış olur. Yaz aylarında ortamın fazla ısınmasını önlemek için güneş kontrol bileşenleri kullanılır. Ayrıca duvar yüzeyinde açılan havalandırma boşluklarıyla doğal havalandırma sağlanarak ortam sıcaklığının düşürülmesi sağlanabilir [18,19]. Şekil 2.9 'da doğrudan kazanım sistemlerinin çalışma prensibi şematik olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.9 : Güneş enerjisinden pasif olarak yararlanmada kullanılan doğrudan kazanımlı sistemlerinin çalışma prensibi [19].

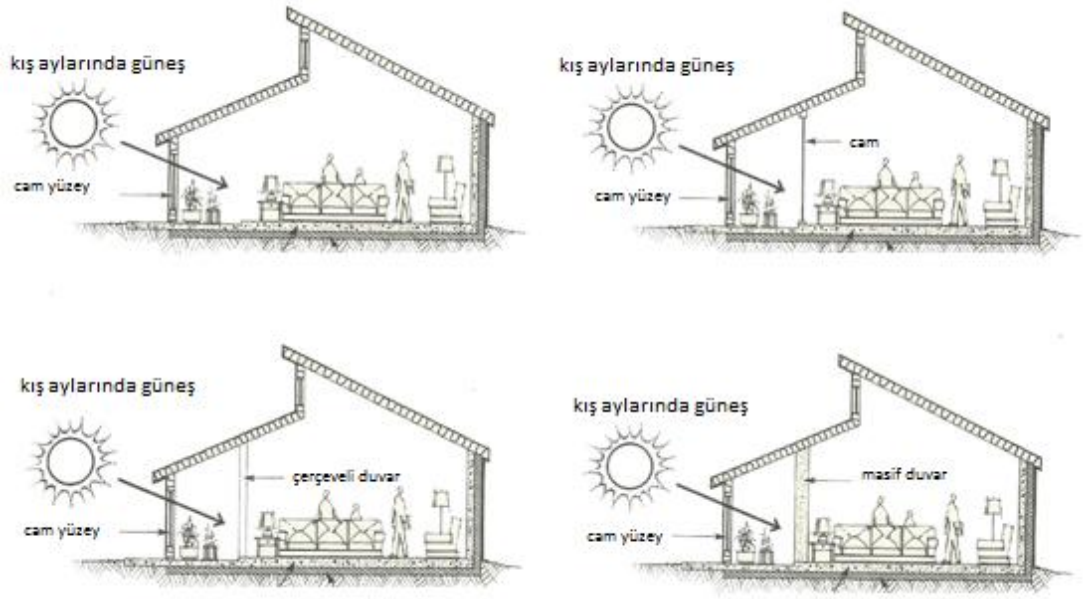
Dolaylı kazanım sistemlerinde ise güneş depolayıcı elemanlar binanın dış yüzeyinde konumlanmıştır. Binanın dış yüzeyine güneş ışınımını geçirebilen saydam cam yüzey yerleştirilir. Isı iletiminin sağlanabilmesi için cam yüzeyden sonra bir miktar hava boşluğu bırakılır ve ısı depolayıcı yüzey yerleştirilir. En yaygın uygulama

örneklerinden birisi trombe duvar olarak bilinen bu sistemlerde yapı kabuğunun güneye yönelen cephesine yerleştirilen ısı toplayıcı yüzey gün boyu güneş ışınımını depolar ve ihtiyaç duyulduğunda yüzey üzerinde açılan menfezlerden geçen ısı, doğal taşınım yollarıyla gerekli mekanlara iletilir. Isı depolayıcı yüzey çoğunlukla taş, tuğla, beton yada benzer ısı yutucu malzemelerden elde edilir [19,20]. Şekil 2.10’ da dolaylı kazanım sistemlerinin çalışma prensibi şematik olarak ifade edilmektedir.



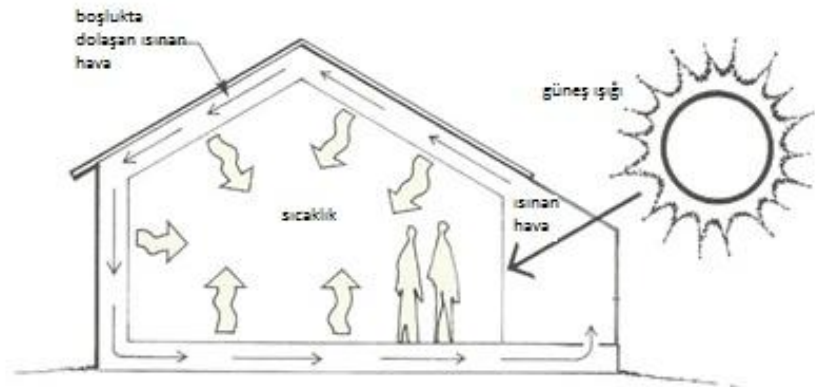
Şekil 2.10 : Güneş enerjisinden pasif yöntemle faydalanmada kullanılan dolaylı kazanım sistemlerinin çalışma prensibi [19].

İzole edilmiş kazanım sistemleri yapı kabuğunun dışına sonradan eklenerek yeni bir ısı depolayıcı mekan oluşturulmasıyla elde edilen sistemlerdir. En yaygın örnekleri seralar olarak bilinir. Yapı ana kabuğuna ek olarak yapılan ikinci kısım güneşe yönlendirilir ve güneş ışınımını geçirebilecek özellikte saydam cam yüzeylerden meydana gelir. Gün boyunca gelen güneş enerjisi ile ısınan ek bölüm kazandığı enerjiyi ana bölüme iletir ve pasif ısınmayı sağlar. İzole edilmiş kazanım sistemleri yalnız olarak kullanılabilirdiği gibi doğrudan yada dolaylı sistemlerle birlikte de kullanılabilir [19]. İzole kazanım sistemleri iki şekilde uygulanabilmektedir. Bunlardan ilki ve daha yaygın olanı ek olarak yapılan ikinci bölüm ile ana kütlein döşeme kotunun aynı seviyede olduğu uygulamalardır. Bir diğeri ise ek bölümün ana bölüm kotundan daha düşük seviyede yapıldığı uygulamalardır. Daha düşük seviyede zemin kotu, binanın kışın etrafını saran toprağın sıcaklığı sayesinde ısı kazanımının artması ve daha yüksek hacim boşluğu sağlaması açısından avantajlıdır [21]. Şekil 2.11’ de izole edilmiş sistem uygulamaları şematik olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.11 : Güneş enerjisinden pasif yöntemle faydalanmada kullanılan izole edilmiş sistemlerin çalışma prensibi [19].

Sürekli dolaşım halkası sistemlerde ise güney yönünde yerleştirilmiş bir güneş toplayıcı panel bulunur. Bu panelden gelen güneş ışınımını yutarak ısınır ve sıcaklığını üzerinde bulunduğu yapı kabuğu elemanına iletir. Burada meydana gelen sıcak hava konveksiyon yöntemiyle yükselir ve bina içinde bırakılmış olan hava boşluklarında dolaşmaya başlar. Bu dolaşım sayesinde binanın ısıl konforu sağlanmış olur. Şekil 2.12 ‘de sürekli dolaşım halkası sistemlerin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.12 : Güneş enerjisinden pasif yöntemle faydalanmada kullanılan dolaşım halkası sistemlerin çalışma prensibi [19].

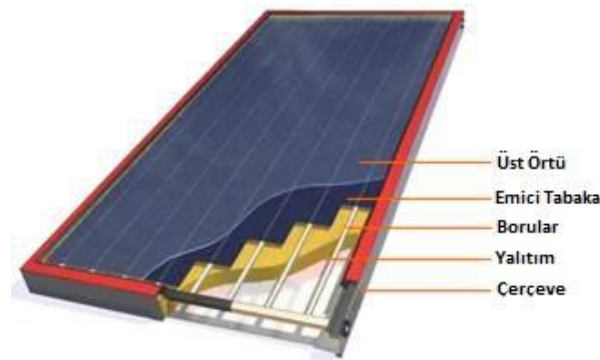
2.3.2 Aktif sistemler

Aktif sistemler güneş enerjisi toplayıcıları kullanılarak yutulan güneş ışınımını enerji transfer mekanizmaları yardımıyla ısı ya da elektrik enerjisine dönüştürerek,

depolama ve enerji dağıtım mekanizmaları sayesinde binalarda kullanımına olanak sağlayan mekanik ve elektronik sistemler bütünüdür.

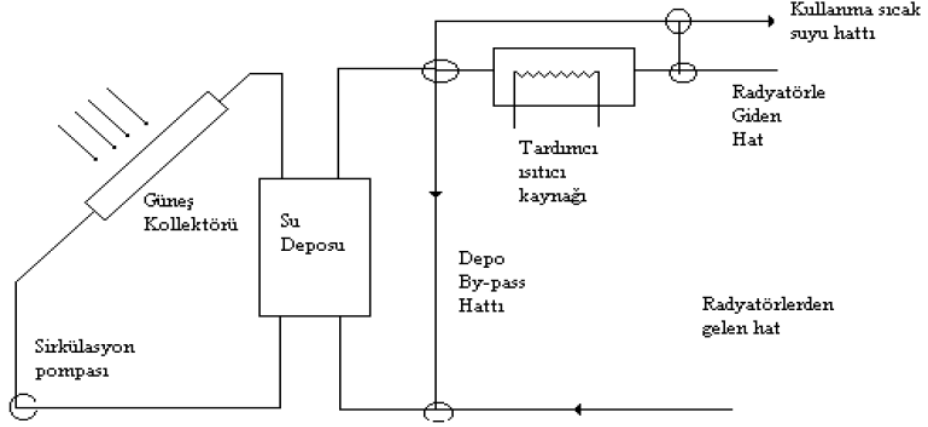
Aktif sistemler, kullanılan mekanik aksam, malzeme ve teknolojik düzey açısından çeşitlilik gösterirler. Ancak binalarda güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla kullanılan aktif sistemleri, ürettikleri enerji çeşidi açısından ısı sistemler (güneş kollektörleri) ve fotovoltaik sistemler (güneş pilleri) olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür.

Güneş kollektör sisteminin bileşenleri temel olarak; güneş ışınımını toplayan kollektörler, ısınan suyun toplandığı depo ve depo ile kollektörler arasındaki bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borulardan meydana gelmektedir. İhtiyaç duyulursa sisteme ek olarak pompa ve kontrol cihazları da yerleştirilebilmektedir [22]. Kollektörün en üst yüzeyinde koruyucu üst örtü bulunur. Üst örtü genellikle cam gibi saydam bir malzemedir ve görevi, mümkün olduğunca yüksek miktarda güneş ışınımının geçirerek emici tabakaya iletmek, toplayıcıdan çevreye taşınım ile olan ısı kaybını azaltmak ve emici tabakanın yağmur, dolu ve toz gibi dış etkenlerden korunmasını sağlamaktır. Üst örtüden geçen güneş ışınımı emici tabakaya gelir. Emici tabaka güneş ışınımını yutan ve ısıyı borulardaki akışkana ileten kısımdır ve bu katman için genellikle ısı iletim kat sayısı yüksek olan bakır, alüminyum ve çelik gibi malzemeler tercih edilir. Emici tabaka tarafından yutulan güneş ışınımı ısı iletim katsayısı yüksek ve minimum 12mm çapında olan borulara iletilir. Boruların alt yüzeyi cam yünü, taş yünü yada poliüretan köpük benzeri yalıtım malzemesiyle kaplıdır. En dışta ise sistem elemanlarının birleşimini sağlayan ve ısı kaçışlarını minimuma indirmek için plastik, paslanmaz çelik yada alüminyum malzemelerden elde edilen çerçeve bulunmaktadır [23]. Şekil 2.13’de kolektörün yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.13 : Güneş kollektörünün yapısı [24].

Ülkemizde güneş kolektörlerinin binalarda ısıl amaçlı kullanım şekillerinden en yaygın olanları, su ısıtma ve hacim ısıtma amacıyla kullanılanlarıdır. Bu sistemlerde borular içindeki ısınan akışkan bir pompa yardımı ile su deposuna aktarılır. Su deposundan bir boru hattıyla kullanım suyu olarak temiz su tesisatına ve kalorifer suyu olarak da radyatörlere iletirir. Sistem çalışma prensibi şekil 2.14’de gösterilmektedir.



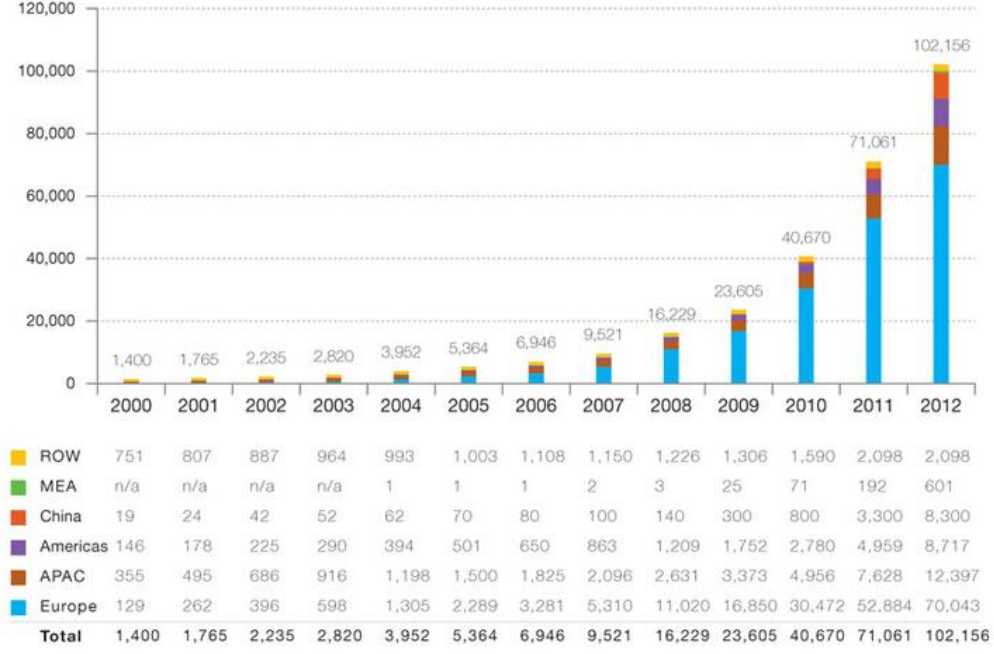
Şekil 2.14 : Güneş kolektörlerinin binalarda su ısıtma amaçlı kullanılması [22].

Güneş enerjisinden binalarda faydalanmayı sağlayan bir diğer teknoloji ise fotovoltaik sistemlerdir. Bu sistemlerde prensip olarak gelen güneş ışınımı elektrik enerjisine çevrilerek çeşitli sistem bileşenleri yardımıyla binanın elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılırlar. Fotovoltaik sistemler hakkında daha detaylı bilgi bu çalışmanın 3. Bölümünde yer almaktadır.

2.4 Türkiye ve Dünyadaki Fotovoltaik Sistem Kullanımı

2012 yılı verilerine göre dünyada toplam kurulu güç kapasitesi yaklaşık 6.000.000 MW, yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücü yaklaşık 1.500.000 MW ve fotovoltaik kurulu gücü ise yaklaşık 100.000 MW olarak belirlenmiştir [25].

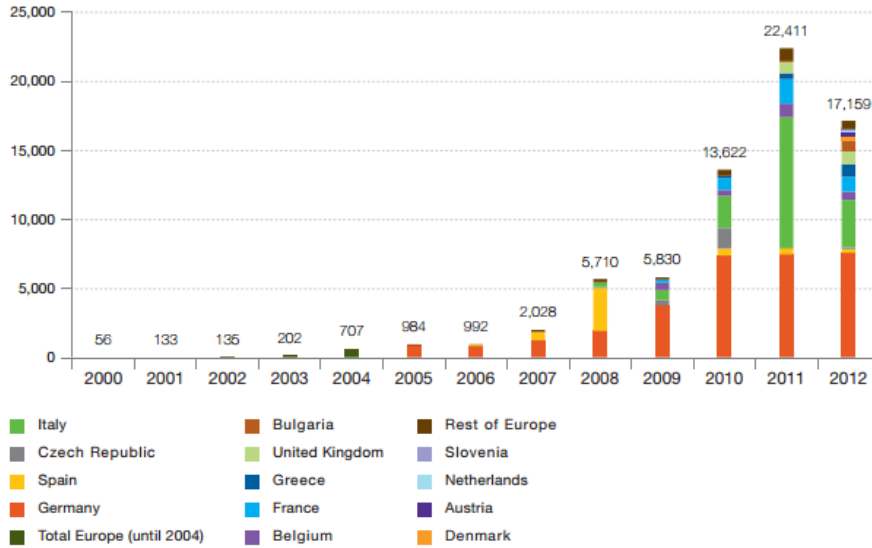
Avrupa 70 GW’lık kurulu güç kapasitesi ile dünya sıralamasında en üst sırada yer alırken onu 8.3 GW ile Çin, 7.8 GW ile Amerika ve 6.9 GW ile Japonya takip etmektedir. Şekil 2.15’de 2012 yılı verilerine göre ülkelerin fotovoltaik sistem kurulu güç kapasiteleri özetlenmiştir [26].



ROW: Rest of the World, MEA: Middle East and Africa, APAC: Asia Pacific.

Şekil 2.15 : Dünya’da fotovoltaik kurulu gücünün 2000-2012 yılları arasındaki değişimi [26].

Dünyada kurulu güç kapasitesi en yüksek olan Avrupa’nın bu başarısı, Almanya gibi fotovoltaik alanında yüksek devlet teşvikleri olan ülkelere sahip olmasına bağlıdır. Şekil 2.16’da Avrupa ülkelerinin 2000 ile 2012 yılları arasındaki fotovoltaik kurulu güç kapasitelerindeki değişim görülmektedir.



Şekil 2.16 : Avrupa’da fotovoltaik kurulu gücünün 2000-2012 yılları arasındaki değişimi [26].

Verilere göre 2008 yılında İspanya fotovoltaik sektöründe yılın en çok gelişim gösteren ülkesi olmayı başarmıştır. Bunu izleyen 2009 yılında ise sektörde durgunluk görülse de Almanya, Avrupa ülkeleri arasında en büyük kapasiteye sahip ülke olmuştur. 2010 yılında sektörde hareketlenme başlamış ve Almanya öncülüğünde, İtalya, Çek Cumhuriyeti ve Fransa kurulu güç kapasitelerinde önemli artışlar göstermiştir. 2011 yılına gelindiğinde ise İtalya yıl içinde gerçekleştirdiği 9GW'lık yeni tesisleriyle toplam kurulu gücünü 12.5 GW değerine kadar yükseltirken Almanya yıl içinde yaptığı 7.5 GW'lık yatırım ile toplam kapasitesini 24.7 GW'a kadar yükseltmiştir. 2011 yılında İtalya ve Almanya'yı, Çin, ABD, Fransa ve Japonya takip etmiştir. 2012 ise 2011'deki büyük sıçramanın ardından nispeten daha durgun bir yıl olmuş ve yine Almanya öncülüğünde İtalya, İngiltere, Yunanistan, Bulgaristan ve Belçika fotovoltaik kurulu güç kapasitelerindeki artışla öne çıkan ülkeler olmuştur.

2.5 Bölüm Sonucu

Geçmiş yıllardan günümüzde hızla artarak devam eden enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla fosil yakıtlara alternatif olarak sürdürülebilir kaynaklar geliştirilmiştir ve giderek yaygınlaşmaktadır. Sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi ve güneş enerjisinden faydalanarak gerçekleştirilen enerji etkin bina tasarımları bu bölümün konusu olmuştur. 1970'li yıllardan sonra artan enerji talebini karşılamak için fosil yakıtların tüketimi hız kazanmıştır. Yakıldıklarında çevreye zararlı gazların salımına yol açan ve önümüzdeki yıllarda tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olan fosil yakıtlar yaşam kalitesini düşürmeye ve canlıların yaşamlarını tehdit etmeye başlamıştır. Bu durum toplumları alternatif enerji kaynakları aramaya mecbur kılmıştır. Güneş enerjisinin, sonsuz bir enerji kaynağı olması, çevreye zararlı herhangi bir etkisinin bulunmaması ve güneş enerjisinden faydalanmada kullanılan sistemlerin uygulama kolaylığı özellikleriyle yenilenebilir enerji kaynakları içindeki yeri ve önemi oldukça büyüktür. Amerika ve Avrupa'nın birçok bölgesinde güneş enerjisi sistemleri kullanımı 1970'li yıllardan itibaren başlamıştır. Yıllık güneşlenme süresi en uzun ülkeler arasında dünyada ilk sıralarda yer alan Türkiye'de ise, güneş enerjisi uygulamalarının kullanımı nispeten daha geç başlamıştır.

Güneş enerjisinden faydalanmada kullanılan sistemleri aktif sistemler ve pasif sistemler olarak iki ana başlıkta toplayabiliriz. Pasif sistemler herhangi bir mekanik

ekipman ihtiyacı olmaksızın binanın yönünün, formunun yapı kabuğunun vs. doğru tasarımı ile güneş enerjisinden faydalanılan sistemlerdir. Pasif sistemler; doğrudan kazanım sistemleri, dolaylı kazanım sistemleri, izole edilmiş kazanım sistemleri ve sürekli dolaşım halkası sistemler olarak gruplanabilir. Aktif sistemler belirli teknik ekipmana ihtiyaç duyularak güneş enerjisini depolayarak ya da depolamadan farklı enerji türlerine dönüştürebilen sistemlerdir. En yaygın olarak kullanılanları güneş kolektörleri ve fotovoltaik sistemlerdir.

3. FOTOVOLTAİK

3.1 Fotovoltaiklerin Tarihsel Gelişimi

1839'da Alexandre Edmond Becquerel tarafından, zayıf bir iletken içindeki elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlı olarak oluştuğu gözlemlenerek fotovoltaik olay keşfedilmiştir.

1873'de Willoughby Smith tarafından selenyum üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Smith'in çalışmalarının W.G. Adams ve R.E. Day tarafından sürdürülmesiyle selenyum kristalleri üzerindeki fotovoltaik etki, 1876'da bulunmuştur. Böylece katı maddelerin de fotovoltaik etki oluşturmasının mümkün olduğu ortaya konulmuştur.

1883'de Charles Fritts'in metal bir plaka üzerine yerleştirdiği selenyum tabakası kullanılarak yaklaşık %1 verim oranına sahip ilk güneş pili icat edilmiştir.

1887'de düşük voltajda elektromanyetik dalganın (ultraviyole) iki metal elektrot arasında atlarken bir kıvılcım oluşumuna yol açtığı Heinrich Hertz tarafından laboratuvar ortamında gözlemlenmiştir.

1904'de Wilhelm Hallwachs bakır ve bakır oksit kullanarak güneş pili üzerinde çalışmalarda bulunmuştur ve aynı yıl fotovoltaik etki üzerine Albert Einstein tarafından hazırlanan bir makale yayımlanmıştır.

1914 yılında fotovoltaik etkinin deneysel olarak varlığı ilk olarak Roberts Andrews Millikan'ın çalışmasıyla kanıtlanmıştır.

1916 ile 1918 yılları arasında Polonyalı bilim adamı Czochralski, tek kristalli silisyum üzerinde çalışmalar yapmış ve sonuçlarını bir makale ile yayımlamıştır.

1923'de Albert Einstein fotovoltaik olayı açıklayan çalışmalarından dolayı Nobel Ödülü'ne layık görülmüştür.

1954'de silisyumun fotovoltaik etkisinin keşfedilmesi ile gelişmiş anlamdaki %4.5 verime sahip fotovoltaik hücre Chapin, Pearson ve Fuller tarafından elde edilmiştir. Birkaç ay içerisinde de verim yaklaşık %6 civarına ulaştırılmıştır.

1958 yılında fotovoltaik teknolojisi ilk olarak uzay araçlarında kullanılmaya başlanmıştır. Vanguard adlı uyduda 108 adet fotovoltaik hücre kullanılmıştır. Başarıyla sonuçlanan ilk denemede hücreler beklenenden daha yüksek performans göstermiş ve böylece fotovoltaikler 1960'ların ilk yıllarından itibaren uzay çalışmalarının güvenilir enerji kaynakları arasında yer almışlardır.

1959 yılına kadar yapılan çalışmalar sonucunda patenti Chapin, Pearson ve Fuller'e ait olan yeni teknoloji fotovoltaik hücrenin verimi %10'a kadar yükseltilmiştir.

Daha sonraki yıllarda teknolojik gelişmelere bağlı olarak saatlerde, hesap makinalarında ve sokak lambalarında kullanılmaya başlanmıştır. 1970'li yıllardan itibaren binalarda kullanılmaya başlanan fotovoltaik hücreler, 1980'li yılların başlarından bu yana ise, bina ile bütünleşik olarak kullanılmaktadırlar.

3.2 Fotovoltaiklerin Yapısı ve Çalışması

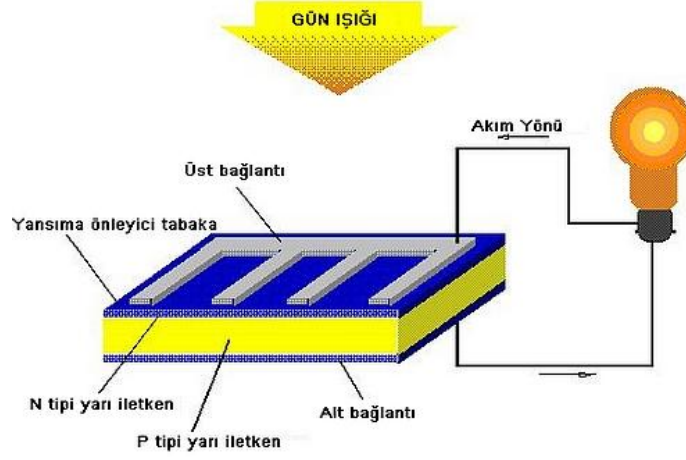
Fotovoltaik, ışık enerjisinden elektrik enerjisi elde edebilme özelliğidir. Fotovoltaik kelimesi, Yunanca ışık anlamına gelen "photo" ve elektrik akımı geliştiren makinayı tasarlayan Alessandra Volt'tan esinlenerek voltaj anlamına gelen "voltaic" kelimelerinin birleşmesinden türetilmiştir. Kısaca PV olarak da adlandırılırlar [27].

Fotovoltaik piller ise fotovoltaik özellik sonucu elektrik enerjisi üretirler ve yarı iletken malzemelerden elde edilirler.

Pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar (üst bağlantı) vardır. Bunlar negatif kontaklardır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi kontakların altında 150 nm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ışınımın üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Bu kaplama tabakası, pil yüzeyinden olan yansımayı önler. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde tasarlanmıştır [28].

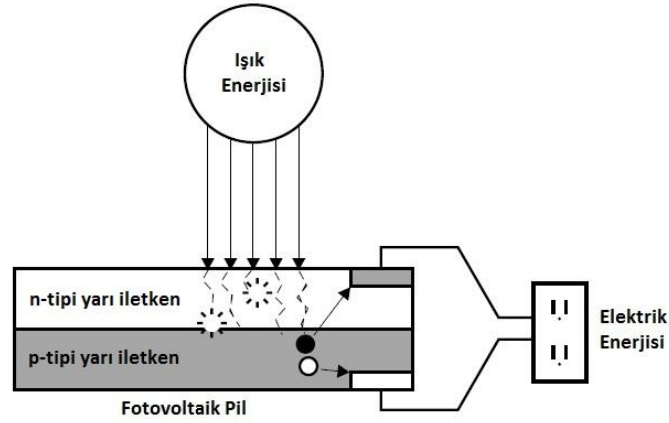
Elektrik akımının meydana geldiği kısım yansıma önleyici tabakanın altında bulunur ve iki temel bölümden oluşur. Birinci bölüm (n-katmanı) gelen ışınımın hemen tümünü soğuracak kalınlıkta, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan bir katmandır. Gelen ışınımın yeterli enerji (yarı iletkenin

yasak bant genişliğinden büyük) taşıyan fotonları bu katmanda soğurularak elektron-hol çifti oluşumuna yol açar.



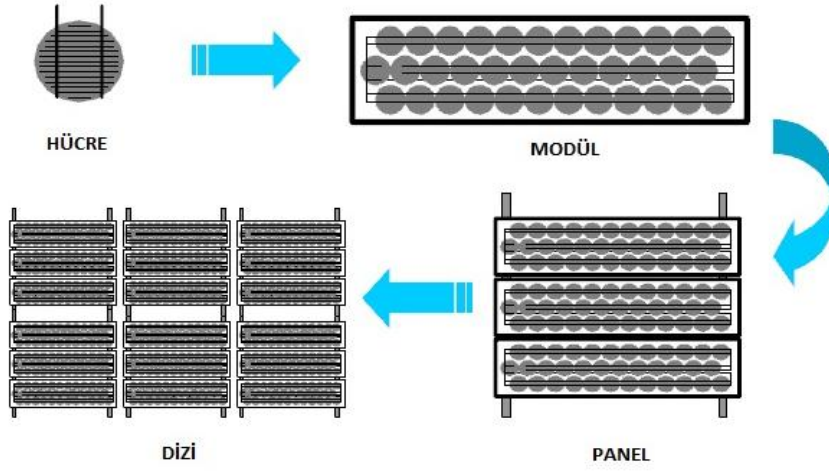
Şekil 3.1 : Fotovoltaik pilin yapısı [29].

İkinci bölüm (p-katmanı) ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. İki katman arasında, p-n eklemi denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur [9,28]. Fotovoltaik pil, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder [30].



Şekil 3.2 : Fotovoltaik pilin çalışması [31].

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi bir fotovoltaik pilden üretilen enerji miktarı çoğunlukla yeterli olmadığı için enerji eldesini arttırmak amacıyla hücreler seri ya da paralel bağlanarak modülleri, modüller bir araya gelerek panelleri, paneller de bir araya gelerek diziyi oluştururlar.



Şekil 3.3 : Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi ilişkisi [32].

3.3 Fotovoltaik Panel Üretimi

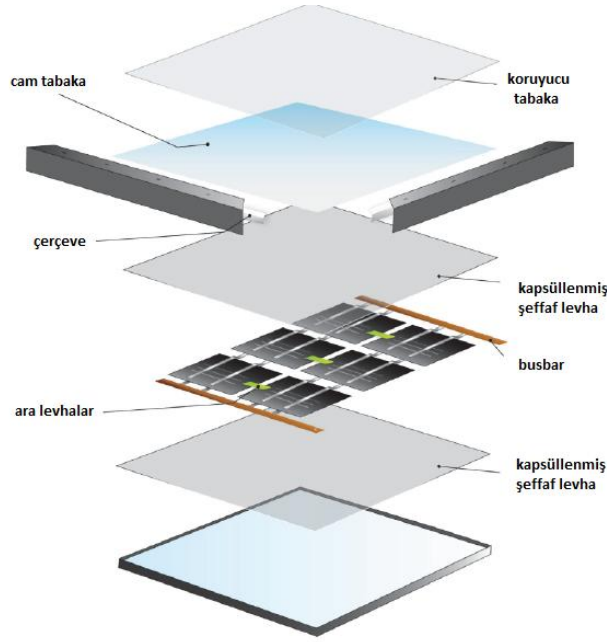
Fotovoltaik pil üretiminde en çok kullanılan yarı iletkenler silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri ve üretim teknolojisindeki gelişmeler dolayısıyla en çok tercih edilen malzeme silisyumdur.

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi, ilk olarak kumdan silisyum bileşiği olan silikon partikülleri elde edilir partiküller döküm işleminden geçirilir. Elde edilen dökümler bölme işleminden geçirilerek parçalara ayrılır ve parçalar da elmas testereler ile 0.5 mm kalınlıkta dilimlere ayrılır. Dilimlerden hücre elde edilir, hücreler bir araya getirilerek paneller elde edilir [33].



Şekil 3.4 : Fotovoltaik Panel Üretimi [33].

Fotovoltaik hücrelerin ön ve arka yüzeylerine kapsül levhalar yerleştirilir. Kapsül levhalar cam üzerine lamine edilebilen şeffaf bir polimerdir. Ön yüzeyde kapsül levhanın üzerine cam tabaka yerleştirilir. Kullanılan cam, gelen ışığın soğrulmasını engellemek için düşük demir içerir ve darbeye karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla temperlenir. Cam tabakanın üzerinde koruyucu tabaka yerleştirilir. Arka yüzeyde ise kapsül levhanın altına arka plaka yerleştirilir, tüm katmanlar bir araya getirildikten sonra alüminyum profillerle çerçevesiz olarak fotovoltaik panel elde edilir [34].



Şekil 3.5 : Fotovoltaik panel katmanları [34].

Üretilen piller, standart test koşullarında test edildikten sonra, tüketiciye sunulmaktadır. Ortam sıcaklığı 25°C , ortalama ışınım şiddeti $1000\text{W}/\text{m}^2$ ve hava-kütle oranı 1,5 olarak test koşulları belirlenmiştir. Hava-kütle oranı, güneş ışınımının geçirilme oranını gösteren atmosfer kalınlığıdır. Güneşin tam tepede olduğu durumda bu oran 1 olarak alınır. Atmosfer tarafından emilen ışınımın oranına bağlı olarak, pilin üreteceği elektrik miktarı da değişeceğinden bu oran önemli bir parametredir [28].

3.4 Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Bir fotovoltaik sistemi oluşturan ana bileşenler; fotovoltaik hücreler, akü, şarj denetim birimleri ve çeviricilerdir.

3.4.1 Fotovoltaik hücreler

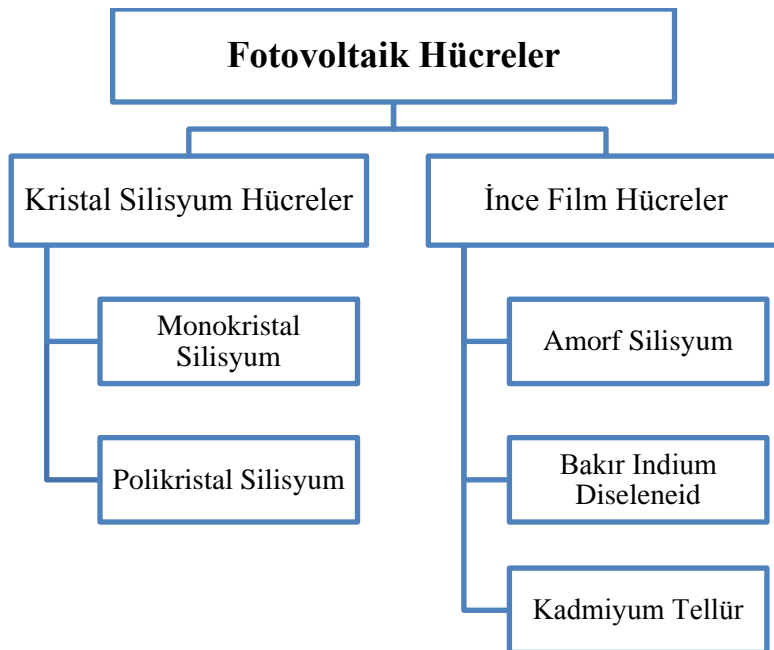
Fotovoltaik sistemin en küçük birimi hücrelerdir ve akım, yarı iletken malzemelerden elde edilen fotovoltaik hücrelerden sağlanır. Emici tabaka olarak kullanılan yarı iletken, güneş spektrumunun önemli bir bölümünü metrenin milyonda biri kadar soğurmalıdır. Elementer kristaller arasında silisyum ve germanyum elementleri bu koşulları sağlar [35]. Ayrıca, kadmiyum, selenyum, indiyum ve galyum gibi elementler de hücre üretiminde kullanılmaktadır.

Elde edilen hücrelerin fiziksel özellikleri, maliyetleri ve verimleri üretimde kullanılan yarı iletken türüne bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bir hücrenin verimi üzerine düşen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilme oranıyla doğru orantılı olarak değişkenlik gösterir.

Modüllerin verimliliğinin yani, gelen güneş enerjinden hangi oranda elektrik enerjisi elde edildiğinin belirlenmesi için yapılan ölçümlerde kullanılan standart, güneş ışınımının havakütle 1.5 (AM1.5) spektrumu sağlaması ve 1kW/m² güç yoğunluğunda olması yanında, modüllerin, ölçümler sırasında 25°C'ta tutulmasıdır [35].

Çizelge 3.1 'de görüldüğü gibi fotovoltaik hücreleri iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; kristal silisyum hücreler ile ince film hücrelerdir.

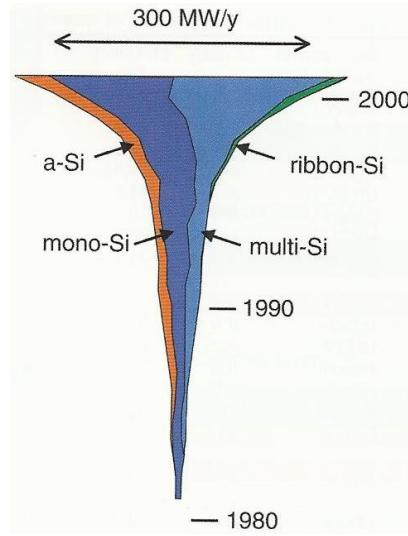
Çizelge 3.1 : Fotovoltaik hücre çeşitleri [36,37,38].



3.4.1.1 Kristal silisyum fotovoltaik hücreler

Fotovoltaik hücre yapımında en yaygın olarak kullanılan yarı iletken silisyumdur. Silisyum çoğunlukla doğada kum ve kuartz biçiminde bulunur. Kumun saflık derecesi düşük olduğundan, kullanılmaya uygun değildir; ancak, kuartzın %90'ı silisyumdur. Kuartz işlenerek (ısıtıp-saflaştırma) %99 silika elde edilir. Silikadan ise metalurji kalitesinde silisyum elde edilir [35].

Kristal silisyum hücreler dökme veya ince film şeklinde üretilebilmektedir. Bu tip hücrelerin üretiminde çoğunlukla Monokristal veya Polikristal malzemeler tercih edilir. Şekil 3.6' da görüldüğü gibi pazar payının ortalama %90'ını oluştururlar [39].



Şekil 3.6 : Fotovoltaik hücrelerin pazar payı [39].

▪ Monokristal silisyum

Homojen bir yapıda olan monokristal silisyum hücreler, bu yapı sayesinde malzemenin her yerinde aynı oranda elektriksel ve optiksel özelliğe sahiptir. Bu nedenle fotovoltaik panel üretimi için en uygun malzemelerdir. Yansıyan ışığın bir kısmını da yutabilmek amacıyla yüzeyleri pramit ve konik şekillerde tasarlanmıştır. Bu nedenle yüksek verim oranlarına sahip olduklarından piyasada en çok tercih edilen fotovoltaik hücre çeşitlerinden birisidir. Ancak, üretim tekniğinin zorluğu ve uzun sürmesi nedeniyle maliyetleri yüksektir.

Monokristal silisyum malzemedan üretilen hücrelerden; laboratuvar ortamında %28 civarında, üretimde ise %15-17 civarında verim elde edilir [40]. Kare (10x10cm, 12.5x12.5cm ebatlarında) veya daire (10,12.5 ya da 15 cm yarıçapında) formlarda üretimleri mevcuttur. Çoğunlukla koyu mavi ve lacivert renktedirler [41].



Şekil 3.7 : Monokristal fotovoltaik hücreler [39].

▪ Polikristal silisyum

Polikristal hücreler monokristalden farklı olarak homojen olmayan bir yapıya sahiptir. Damarlar arasındaki süreksizlik nedeniyle verimi, monokristale göre daha düşüktür. Damarların büyüklükleri arttıkça kristalin kalitesi ve buna bağlı olarak hücrenin elektriksel özellikleri de artmaktadır. Laboratuvar koşullarında %17-18 verim elde edilebilen polikristal hücrelerden üretimde ise ortalama %14 verim sağlanmaktadır [40]. Ancak üretim tekniği monokristale nispeten daha az kayıba neden olduğu ve daha basit bir teknikle üretildiği için maliyeti monokristalden daha düşüktür. Çoğunlukla 10 cm, 12.5 cm ve 15 cm ölçülerinde kare şeklinde üretilirler. Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi maviden griye farklı renk alternatifleri mevcuttur.

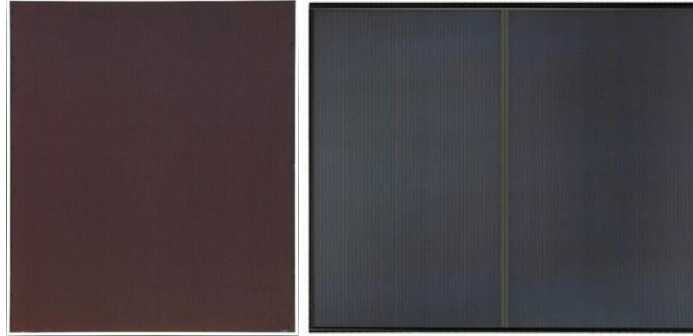


Şekil 3.8 : Polikristal fotovoltaik hücreler [39].

3.4.1.2 İnce film hücreler

Kristal silisyum hücrelerin üretimindeki işçilik zorluğu ve malzemenin azaltılması amacıyla geliştirilmiş olan ince film hücreler; yarı iletken malzemenin çok ince katmanlar halinde kesilerek cam, metal ya da plastik yüzeyler üzerine kaplanmasıyla elde edilirler. İnce film hücrelerin üretiminde kristal silisyum hücrelere oranla daha az malzeme ve enerji tüketildiğinden, maliyetleri de kristal silisyum hücrelerden daha düşüktür.

Ancak ince film hücreler damarlı yapısı dolayısıyla optiksel ve elektriksel kusurlara sahiptirler. Bu nedenle verimleri monokristal ve polikristal hücrelere oranla daha düşüktür. Gelişen teknolojilerle birlikte ince film fotovoltaik hücrelerin verimlilikleri %18'lere kadar yükselmiş olsa da malzeme uzun dönemde kararlılığını koruyamadığından üretim pazarında büyük bir paya sahip olamamışlardır [42]. İnce film fotovoltaik hücrelerin en çok kullanılanları amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum-diselenid (CuInSe₂ yada CIS)'dir.



Şekil 3.9 : İnce film fotovoltaik hücreler [39].

- **Amorf silisyum**

Laboratuvar koşullarında ortalama %10 verim elde edilen amorf silisyum hücrelerin uygulamadaki verimleri %5-7 civarındadır. Son yıllarda yarı geçirgen hücre üretiminde kullanılan amorf silisyum fotovoltaik hücreler düşük verimleri nedeniyle çoğunlukla hesap makinesi gibi küçük elektronik cihazlarda kullanılırlar.

- **Kadmiyum tellür**

Kadmiyum elementinin doğada bol bulunması ve üretim teknolojisi nedeniyle maliyetleri oldukça düşük olan kadmiyum tellür fotovoltaik piller laboratuvar koşullarında %16 civarında verim sağlarken uygulamada bu oran % 6-8 olmaktadır.

- **Bakır indiyum-diselenid**

Laboratuvar koşullarında yaklaşık %17 verim elde edilen bakır indiyum-diselenid fotovoltaik hücrelerde uygulamada %9-11 civarında verim elde edilmektedir. Diğer fotovoltaik hücrelere oranla daha ince yapıda olmaları nedeniyle montaj kolaylığı sağlarlar.

3.4.2 Aküler

Fotovoltaik sistemlerde akü kullanımı isteğe bağlıdır. Akü kullanılmadığı durumlarda sistemden elde edilen elektrik enerjisi depolanamaz. Gün ışığının yeterli olmadığı durumlarda ya da güneş battıktan sonra ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi sistemden sağlanamaz. Kullanıcılar akü sayesinde, üretilen fakat tüketilmeyen enerjiyi daha sonra kullanmak üzere depolayabilir [9].

Son yıllarda en çok kurşun asit ve nikel kadmiyum aküler tercih edilmektedir. Kurşun asit aküler günümüzde arabalar için de tercih edilen akü tipidir. Nikel kadmiyum akülerin yüksek fiyatlı olması ve sağlık açısından zararlarının tartışılması gibi dezavantajları dolayısıyla kurşun asit aküler daha yaygın olarak kullanılmaktadır [38].

Akü tercih edildiği durumlarda öncelikle sistemin gereksinim duyduğu akü boyutu hesaplanır. Akü boyutu hesaplanırken;

- Sistemin pv panelden elektrik almadan geçirmesi gereken gün sayısı,
- Bölgede oluşabilecek ardışık en yüksek bulutlu gün sayısı,
- Akü deşarj derinliği,
- Akünün çalışacağı bölgedeki ortam sıcaklığındaki güvenli çalışma durumunu dikkate alan akü sıcaklık katsayısı,

parametreleri dikkate alınır ve bu doğrultuda sistem için en uygun akü tercih edilir [43].



Şekil 3.10 : Akü [44].

3.4.3 Şarj denetim birimleri

Şarj denetim birimleri fotovoltaik paneller ile akü arasındaki gerilimi düzenlemeye yardımcı birimlerdir. Fotovoltaik panelden elde edilen düzensiz gerilimin direk aküye iletimi akü açısından sakıncalıdır. Şarj denetim birimleri de; aküyü aşırı şarja

karşı korumak, aküyü derin deşarjdan korumak ve panelden elde edilen gerilimi düzenleyerek aküye iletmek gibi amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır.



Şekil 3.11 : Şarj denetim birimi [45].

3.4.4 Çeviriciler

Fotovoltaik paneller doğru akım üretirler. Şehir şebekesinden gelen akım ise alternatif akımdır. Bu nedenle elde edilen doğru akımın evlerde ya da iş yerlerinde cihazlarda kullanılması için alternatif akıma çevrilmesi gerekmektedir. Çeviriciler panellerin ürettiği doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazlardır.

Bir çeviriciden beklenen özellikler; enerji kullanım durumuna göre otomatik açma kapama yapabilmesi, gerektiği zaman cihazların düzgün çalışması için çıkış gücünü arttırabilmesi ve kendi kendine pilini şarj edebilmesidir.

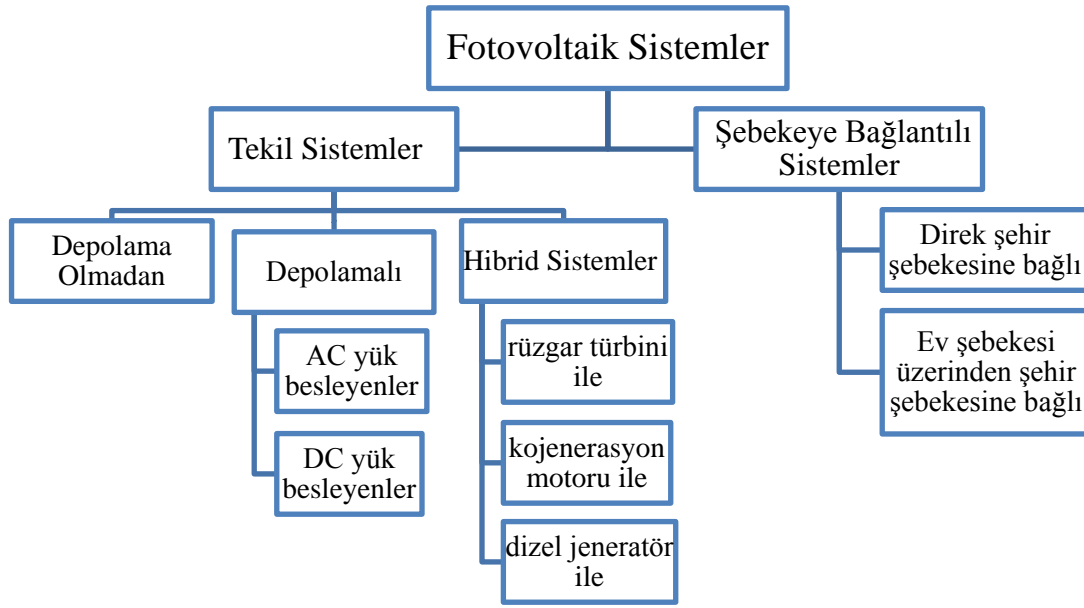


Şekil 3.12 : Çevirici[46].

3.5 Fotovoltaik Sistem Türleri

Fotovoltaik sistemler kullanım şekline göre tekil sistemler ve şebekeye bağlantılı sistemler olarak ikiye ayrılır. Çizelge 3.2'de Fotovoltaik sistem türlerinin sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Fotovoltaik sistem türleri [9,37,38].

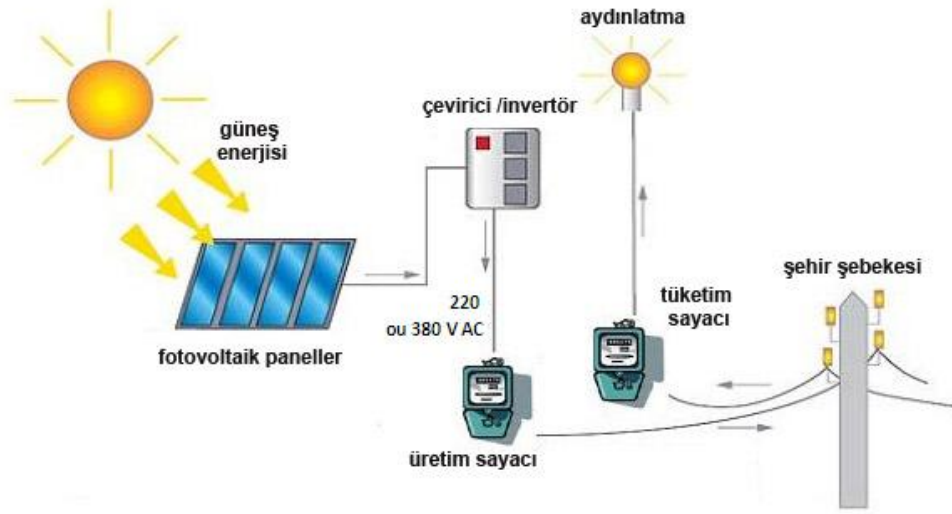


3.5.1 Şebeke bağlantılı sistemler

Şehir şebekesinin mevcut olduğu durumlarda fotovoltaik sistem ile şebeke birbirlerine destek olarak çalışır. Fotovoltaik sistemden yeterli verim alındığı zamanlarda şebekeye ihtiyaç duyulmaz, ancak fotovoltaik sistemin yetersiz olduğu durumlarda (bulutlu günler ya da gece boyunca) şebekeden destek alınarak elektrik ihtiyacı karşılanır. Ayrıca sistemden elde edilen enerji ihtiyaçtan fazla olduğu durumlarda şebekeye geri besleme yapılabilir. Dünyada birçok ülkede uzun yıllardır, Türkiye’de ise son yıllardaki gelişmelerle, fazladan üretilen elektrik sayaktan geçirilerek kullanım bedelinden düşülmektedir. Bu da kullanıcının fotovoltaik sisteme teşvikinde önemli bir rol oynamaktadır [9,38].

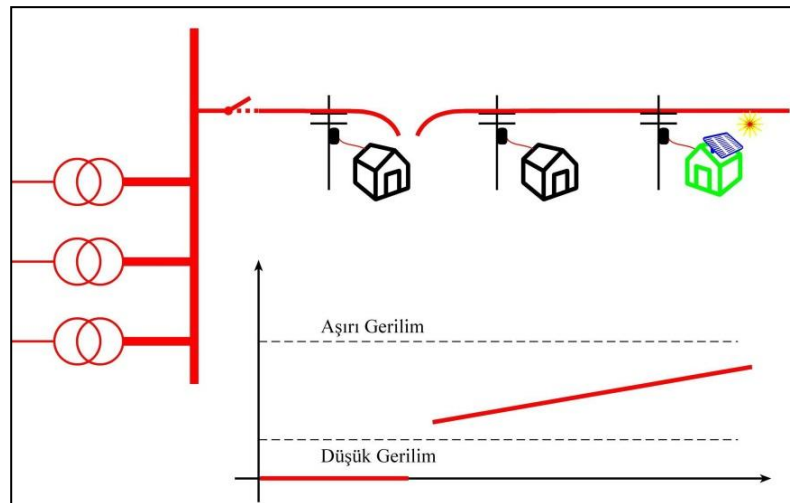
Şebekeye bağlantılı sistemler, doğrudan şehir şebekesine bağlı ve binaların kendi şebekelerinden şehir şebekelerine bağlı olanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ev şebekesi üzerinden şehir şebekesine bağlantılı olan sistemlerde panellerden gelen enerji çeviriciden geçer ve evin şehir şebekesinden gelen dağıtım kutusuna iletilir. Bu sayede evdeki elektronik cihazlar gelen enerjiyi kullanabilir ve gelen enerjinin fazlası da ev şebekesi üzerinden şehir şebekesine satılabilir. Doğrudan şehir şebekesine bağlı sistemler ise üretilen enerji direk şehir şebekesine iletilir ve çoğunlukla güneş tarlaları gibi şehrin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan sistemlerde kullanılmaktadır. Binalardan şehir şebekesine bağlı olan sistemlerde

çevirici kullanılarak doğru akım (DC) şehir şebekesinin kullandığı alternatif akıma (AC) dönüştürülür.



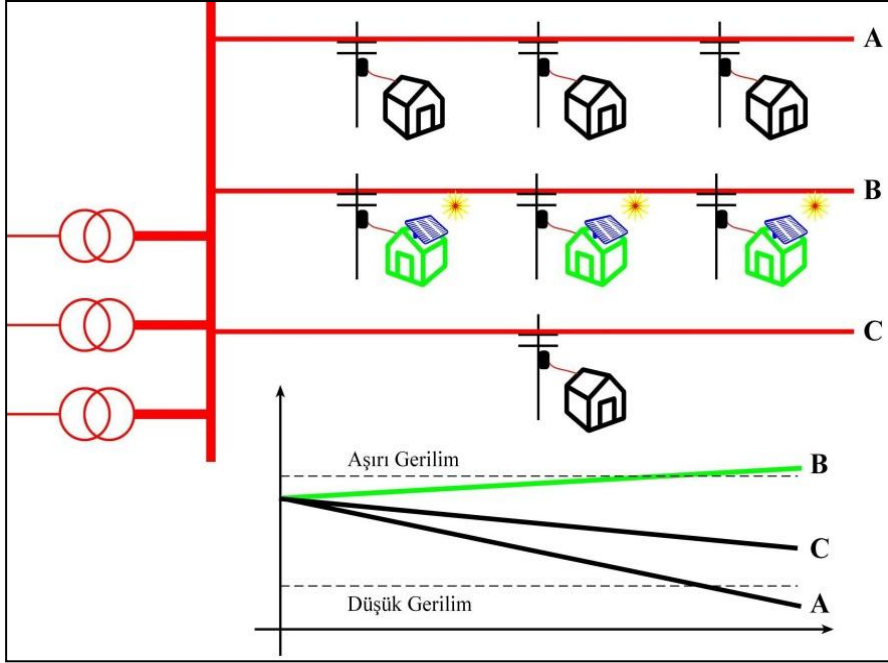
Şekil 3.13 : Şebeke bağlantılı sistem çalışma diyagramı [47].

Şebeke bağlantılı sistemlerde şebekeye destek enerji sağlamak amaçlanırken gerekli tedbirler alınmadığı takdirde şebekenin zarar görmesi riski ortaya çıkabilir. Şebeke elektriğinin kesilmesi durumunda fotovoltaik sistemin enerji üretmeye devam ederek şebekeye güç vermesi önlenmelidir. Bu sistem hatasına adalanma denir. Bu tip bir sorun olduğunda çevirici devreyi açarak sistemde üretilen elektriğin devreye aktarılmasını önlemelidir [48]. Şekil 3.14'de şebekeye bağlı sistemlerde meydana gelebilen adalanma sorunu gösterilmektedir.



Şekil 3.14 : Şebeke bağlantılı sistemde adalanma sorunu [9].

Bir diğerk problem fotovoltaik panellerden üretilen güç ile şebeke gücü regüle edilmeden birleştirilirse tüketiciler için kullanılan elektrik enerjisinde aşırı gerilim tehlikesi olur. Şekil 3.15’de şebeke bağlantılı sistemlerde aşırı gerilim sorunu özetlenmiştir.



Şekil 3.15 : Şebeke bağlantılı sistemde aşırı gerilim sorunu [9].

3.5.2 Tekil (şebekeden bağımsız) sistemler

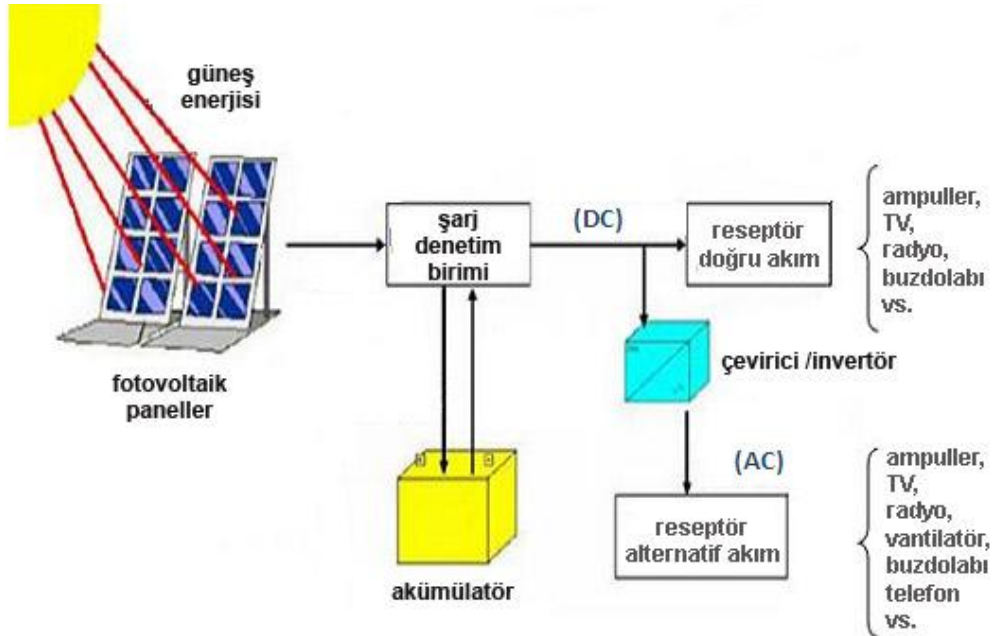
Tekil sistemler şehir şebekesinden uzakta olan kırsal bölgelerde, elektrik ihtiyacı olduğu durumlarda uygulanırlar. Bu tip bölgelerde çoğunlukla şebekeye bağlanma maliyeti fotovoltaik sistem kurulum maliyetinden yüksektir.

Tekil sistemler üç gruba ayrılırlar. Bunlar; enerjiyi depolayan, enerjiyi depolamadan tüketen ve hibrid sistemler olarak sıralanabilir. Enerjiyi depolamadan tüketen sistemlerde çevirici, şarj denetim birimi ya da akü bulunmaz. Paneller tarafından üretilen enerji doğrudan kullanılır [9,37]. Çoğunlukla gündüz saatlerinde enerji ihtiyacı duyulan kırsal bölgelerdeki zirai amaçlı tesislerde, su pompalarında tercih edilirler.



Şekil 3.16 : Fotovoltaik panellerin su pompası için kullanımı [49].

Enerjiyi depolayan sistemler de depolama için akü kullanılır. Akünün uzun ömürlü kullanılabilmesi için şarj denetim birimine de ihtiyaç duyulur. Güneşli zamanlarda akü şarj edilir, güneşin yetersiz olduğu bulutlu günlerde ya da gece boyunca ihtiyaç, aküde depolanan enerjiden karşılanır. Fotovoltaik sistemden faydalanan elektrikli aletler alternatif akım (AC) ile çalışıyorsa; akü ve şarj denetim birimine ek olarak sistemde bir de çeviriciye (invertör) ihtiyaç duyulur. Elektrikli aletlerin doğru akım (DC) ile çalıştığı durumda ise çeviriciye ihtiyaç duyulmaz sistemden elde edilen enerji direk kullanılır. Şekil 3.17’de şebekeden bağımsız sistemlerin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 3.17 : Tekil (şekeden bağımsız) sistemlerin çalışma diyagramı [50].

Enerji depolayan sistemler, dizüstü bilgisayar, sinyalizasyon sistemleri gibi küçük uygulamalar ve cihazlarda kullanıldığı gibi endüstriyel uygulamalar ve konutlarda da tercih edilebilmektedir. Şekil 3.18’de enerji depolayan sistemlerin küçük uygulama alanlarından örnekler görülmektedir.



Şekil 3.18 : Enerji depolayan sistemlerin küçük uygulama alanı örnekleri [49].

Şebekeden bağımsız sistemlerin bir başka uygulama çeşidi de hibrid sistemlerdir. Bu tip uygulamalarda fotovoltaiik sistem, rüzgâr türbini, kojenerasyon motoru ya da dizel jeneratör gibi bir ya da birkaç sistemle birlikte kullanılır.



Şekil 3.19 : Hibrid sistem uygulaması [51].

3.6 Fotovoltaiik Sistemlerin Performansını Etkileyen Faktörler

Fotovoltaiik sistemlerin; tasarım, uygulama ve kullanım sürelerince performansını etkileyen birçok faktör bulunur. İlk aşama olan tasarım sürecinden itibaren sistem bir bütün olarak ele alınmalı ve tüm kararlar bu doğrultuda verilmelidir. Şüphesiz ki

sistemin performansını etkileyen birçok faktör söz konusudur, ancak bunlardan bazıları;

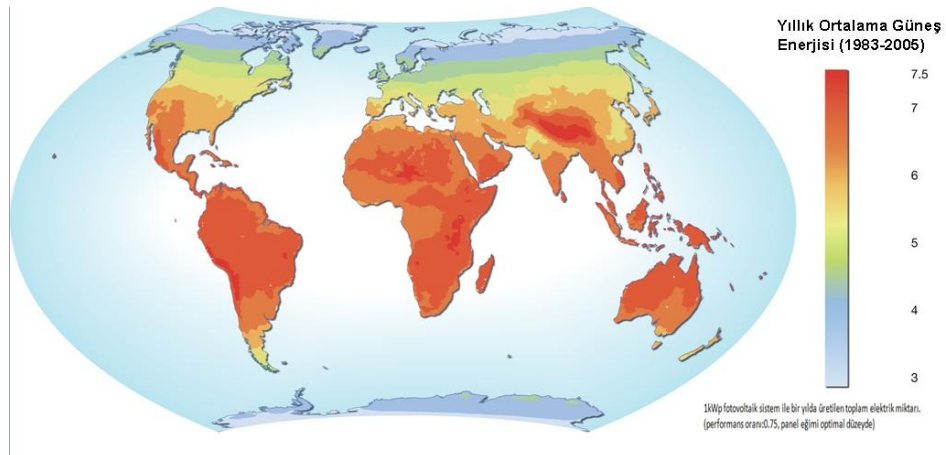
- Konum
- Yönlendirme ve yüzey eğim açısı
- Gölgeleme
- Panel tipi
- Bakım ve temizlik
- Modüllerin arka yüzeyinde oluşan sıcaklık

olarak sıralanabilir.

3.6.1 Konum

Dünyanın geoit şeklinde olmasından dolayı güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle kabuğunda PV panel tasarımı yapılacak olan bir binanın bulunduğu bölgenin yıllık güneşlenme değerleri, panelden elde edilecek enerjiyi doğrudan etkilemektedir [52].

Şekil 3.20'deki dünya güneş enerjisi potansiyel atlasında görüldüğü gibi Avrupa'da güneşlenme açısından en zengin ülkelerin başında Türkiye, Yunanistan, İtalya ve İspanya gelmektedir. Bunların haricinde Avusturalya ve Afrika kıtaları ile Arabistan Yarımadası, ABD'nin batı bölgesi, Güney Amerika Kıtası'nın kuzey bölümleri en yüksek güneş radyasyon değerlerine sahip bölgelerdir.



Şekil 3.20 : Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası [53].

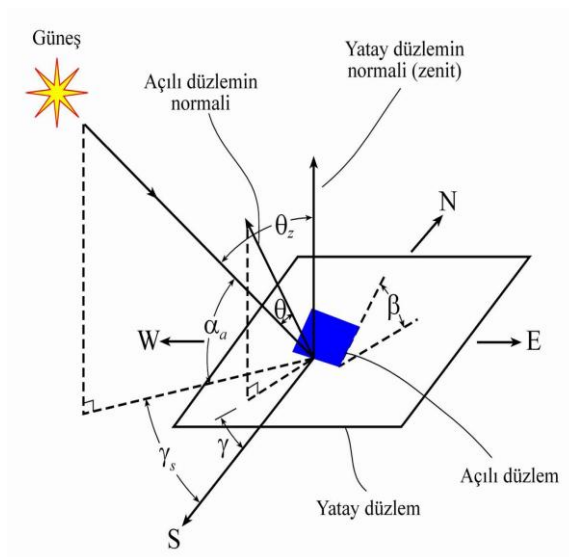
Türkiye güneşlenme haritasına göre; güneş açısından performansı en yüksek bölgelerin başında Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1460 kWh/m²-yıl ile birinci sırada

yer almaktadır, Akdeniz Bölgesi ise 1390 kWh/m²-yıl ile onu takip etmektedir [54]. Ülkemizin en düşük güneşlenme değerlerine sahip olan Karadeniz Bölgesi bile 1120 kWh/m²-yıl'lık potansiyeli ile dünya sıralamasında önemli bir yere sahiptir.

Fotovoltaik sistemin konumlandırılacağı bölgenin iklimsel özellikleri de sistemin performansı üzerinde etkisi olan önemli faktörlerdendir. Bölgenin güneşlenme süresinin uzunluğu ve güneş radyasyon değerlerinin yüksekliği sistemden elde edilen enerji miktarına olumlu yönde etki ederken, sıcak iklim bölgelerindeki aşırı sıcaklık; modüllerin de sıcaklık değerinin artmasına ve sistem performansının düşmesine neden olur. Bundan dolayı nispeten rüzgar alan bölgelere konumlandırılan fotovoltaik sistemlerde; esen rüzgarla panellerin havalandırılması ve bir miktar da olsa soğutulması sağlanır. Soğuk iklim bölgelerinde ise kış aylarında yağın karın paneller üzerinde birikmesi sonucunda performansta düşüşler meydana gelebilmektedir [52].

3.6.2 Yönlendirme ve eğim açısı

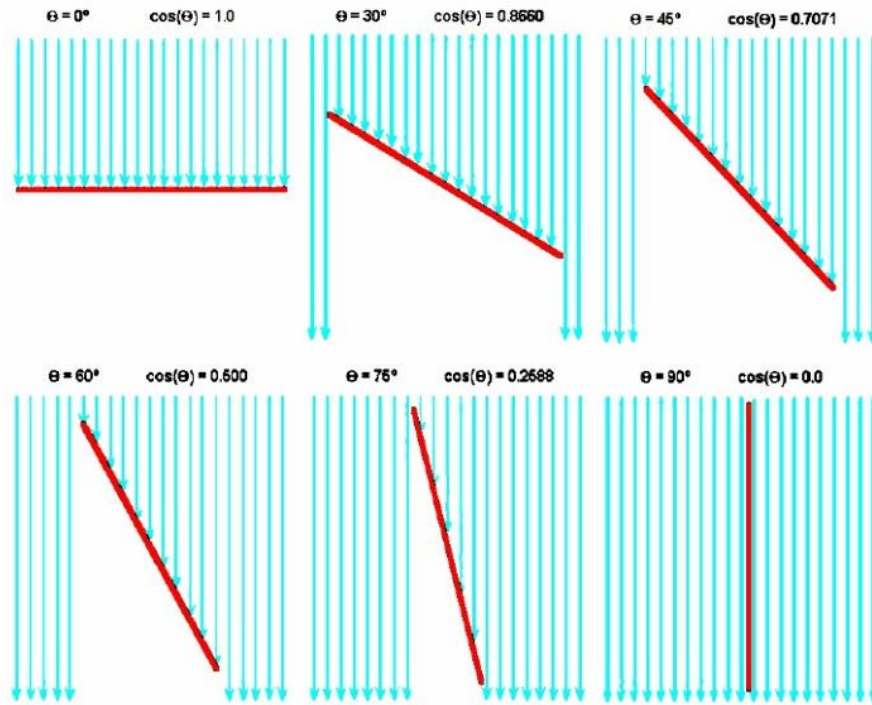
Fotovoltaik sistemden elde edebileceğimiz enerji miktarı; binanın bulunduğu enleme ve panelin eğim açısına göre değişmektedir [55]. Burada eğim açısı; panelin, konumlandırıldığı yatay düzlem ile yaptığı açıdır. Sistemden en iyi performansın elde edilmesi için gerekli optimal eğim açısı; güneş ışınlarının panel yüzeyine 90⁰'lik açı ile gelmesini sağlayan değerdir. Güneş ışınları yeryüzüne farklı açılarda geldiğinden dolayı da paneller için optimal eğim açısı bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilmektedir. Şekil 3.21'de güneşin eğim açıları gösterilmektedir.



- α_a : Güneş Yükseklik Açısı
- β : Eğim Açısı (Panelin yatay düzlemle yaptığı açı)
- θ : Güneş Işınımı Açısı (Güneş ışınımı ile alıcı yüzeyin normali arasındaki açı)
- γ : Yüzey Azimut Açısı (Alıcı yüzeyin normaliyle güney çizgisi arasındaki açı)
- γ_s : Güneş Azimut Açısı (Güneşin güney çizgisi ile yaptığı açı)
- δ : Deklinasyon
- θ_z : Güneş Zenit Açısı
- φ : Enlem

Şekil 3.21 : Güneş'in eğim açıları [9].

Şekil 3.22’de güneş ışınları ile panel yüzeyinin normali arasındaki açıyı ifade eden θ değerleri için, 0^0 ’den 90^0 ’ye kadar farklı açılarda panel yüzeyine düşen güneş ışığı miktarı değişimleri görülmektedir. $\theta = 90^0$ ’de panel yüzeyine güneş ışığı düşmezken $\theta = 0^0$ ’de panel, tüm yüzeyi ile güneş ışığını toplayabilmektedir. Bu nedenle sistemden maksimum performansın elde edilebilmesi için sistemin konumlandırılacağı bölgenin güneş ışınımı değerleri ve güneş ışığının bölgeye geliş açısı değerleri önceden hesaplanmalı ve paneller doğru açılarda yerleştirilmelidir. Paneller için uygun açı Avrupa’da 28^0 ile 47^0 arasında değişiklik gösterirken, Türkiye için uygun değer 27^0 ile 30^0 arasındadır. Panellerin uygun açılardan dışarıda konumlandırılması halinde ise enerji eldesinde ortalama %12-%15 arasında kayıplar meydana gelmektedir.



Şekil 3.22 : Fotovoltaik sistemlerle ilgili önemli açılar [9].

Yönlendirme de en az eğim açısı kadar sistemden elde edilen enerji miktarını etkileyen bir faktördür. Panellerin yönlendirilmesi açısından en doğru tercih güney yönü iken, güneydoğu ile güneybatı yönleri de kabul edilmektedir [56].

3.6.3 Gölgeleme

PV panellerin performansı birçok etmeden etkilenebilir ama en önemlilerinden birisi gölgeleme değildir. Gölgelemeye sebep olabilecek etmenler; komşu binalar, ağaçlar ve çalılar, telefon direkleri olarak sayılabilir [55]. Özellikle şehir ve kent

merkezlerinde yakın konumlanmadan dolayı binalar birbirlerinin üstüne gölge düşürmektedirler [52]. Ya da bazen Şekil 3.23’de görüldüğü gibi tasarımdan dolayı binanın kendi kendini gölgelemesi de mümkündür. Bu gibi durumlar sistemden elde edilecek enerji miktarını düşüreceği için tasarım esnasında doğru kararlar verilmelidir.



Şekil 3.23 : Fotovoltaik panellerin diğer binalar tarafından gölgelemesi [16].

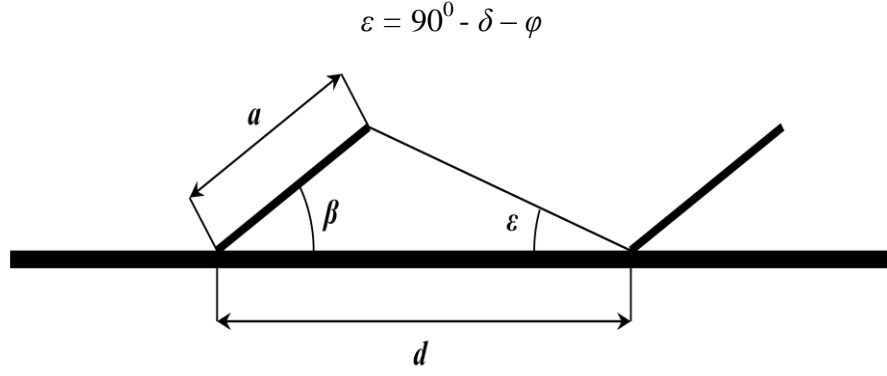
Gölgelemeye sebep olabilecek bir diğer etmen ise ağaçlardır. Tasarım esnasında çevredeki ağaçlar iyi analiz edilmeli ve hatta mümkünse kışın yaprak döken ağaçlar tercih edilmelidir. Böylelikle kışın daha düşük açıyla gelen güneş ışınlarının panel üzerine düşürülmesi kolaylaşmaktadır [55].



Şekil 3.24 : Fotovoltaik panellerin diğer ağaçlar tarafından gölgelemesi [16].

Fotovoltaik paneller çoğunlukla diziler halinde yerleştirilmektedir. Bu yerleşimde panellerin arasında belirli bir mesafe bırakılmasına dikkat edilmelidir. Bu mesafe şu şekilde hesaplanabilmektedir;

İki panel arasındaki optimal mesafe d ile ifade edilerek, φ enleminde α genişliğinde bir panel β açısıyla yerleştirilmiş olsun. φ enlemi ve $\delta = 23.5^\circ$ deklinasyon açısından önce ε gölgeleme açısı daha sonra da d şu denklemler kullanılarak hesaplanır.



Şekil 3.25 : Fotovoltaik paneller arasında bırakılması gereken mesafe [9].

Tasarım sırasında gerekli hesaplar yapılmaz ya da dikkate alınmazsa Şekil 3.26'daki gibi paneller birbirinin üzerine gölge düşürürler. Bazı durumlarda, örneğin paneller arasında gerekli mesafenin bırakılması için yeterli alan olmadığında, paneller üzerine düşen az miktarda gölge göz ardı edilebilmektedir. Ancak bu yanlış bir düşüncedir çünkü modüller diğer modüllere ve paneller de diğer panellere hem seri hem de paralel olarak bağlanmaktadır. Dolayısıyla tek bir modülde oluşan enerji kaybı tüm sistemi etkileyerek sistem performansının düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 3.26 : Panellerin birbirini gölgelemesi [16].

Şekil 3.27'de ise panellerin bacalar tarafından gölgelenmesi görülmektedir. Binaya ait bacalar da tasarımda önceden belirlenmeli ve mümkünse bacaların etrafında gölgelenmesi potansiyel bölgeler tesbit edilip bu alanlara paneller yerleştirilmemelidir. Bacalar gibi günün büyük bölümünde çatıda gölge yaratabilecek cisimler tasarımda göz ardı edildiğinde sistem beklenenden daha düşük performans ile çalışır.



Şekil 3.27 : Panellerin bacalar tarafından gölgelenmesi [16].

3.6.4 Panel tipi

PV panelin modüler geometri açısından estetiği, özellikleri, ebatları, rengi ve montaj sistemi (çerçevesiz ya da çerçevesiz) hem yapının görünüşünü hem de sistemden elde edilebilecek enerji değerlerini etkilemektedir [57]. Güneş hücreleri genellikle mavi, lacivert ve siyah renklerde üretilirler. Bu konuda ayrıntılı bilgi Bölüm 3.4.1’de verilmiştir. Gri, yeşil, kırmızı, sarı ve turuncu renkleri de üretilmektedir. Ancak bu renklerin standart üretimi olmadığından genellikle diğerlerine oranla biraz daha pahalıdır. Mavi renkteki güneş hücreleri performansları en yüksek olanlardır. Ayrıca hücre yapımında kullanılan malzeme de performansı etkileyen önemli etmenlerden birisidir. Çizelge 3.3’de farklı malzemelerle üretilen güneş hücrelerinin performans değerleri ve alan gereksinimleri verilmiştir [58].

Çizelge 3.3 : Güneş hücre malzemelerinin performans değerleri ve alan gereksinimleri.

| Panel Tipi | Performans (%) | Alan (m^2/kWp) |
|---------------------------|----------------|--------------------|
| Yüksek Performanslı | 17-18 | 6-7 |
| Mono Kristal Silisyum | 12-15 | 7-9 |
| Poli Kristal Silisyum | 11-14 | 7-10 |
| İnce Film Bakır İndiyum | 9-11 | 9-11 |
| İnce Film Kadmiyum Tellur | 6-8 | 12-17 |
| İnce Film Amorf Silisyum | 5-7 | 14-20 |

3.6.5 Bakım ve temizlik

Fotovoltaik panellerin performansının düşmesine neden olan bir diğer etmen, kullanım süresinde düzenli temizliğin yapılmamasıdır. Şekil 3.28’de görüldüğü gibi, paneller kentsel ortamda veya tozlu kırsal alanlarda zamanla kir toplar. Bazende, bahar aylarında etrafında bol miktarda yaprak döken ağaçlar bulunan panellerin yüzeyi ağaçlardan dökülen yapraklarla kapanabilir. Panel yüzeyinin toz, kir ya da yaprak gibi dış etkenler nedeniyle kapanması sonucunda sistem performansında ortalama %3,5 civarında performans kaybı gözlenir [59].

20⁰ ve üzerinde bir açıyla yerleştirilen paneller yağmur etkisiyle kendi kendilerine temizlenebilmektedir [58]. Bunun dışındaki durumlarda panel yüzeyi su ile bazen de gerekli duyulursa bir fırça yardımıyla birisi tarafından Şekil 3.29’daki gibi nazıkçe, üzerindeki cam tabakasına zarar vermeden temizlenmelidir. Kış aylarında yoğun kar yağışı alan bölgelerde kar, panel yüzeyini kapatabilir, eriyinceye kadar panellerin elektrik üretimini engelleyebilir. Böyle bir durumda da yine kar tabakası bir kürek yardımıyla temizlenmelidir. Fotovoltaiklerin binaya kabuğunda(çatı ya da cephe) kullanılması durumunda ise panel yüzey temizliğinin rahatlıkla yapılabilmesine olanak tanıyabilecek detaylar göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 3.28 : Panellerin üzerinin toz ya da kar ile kapanması [16].



Şekil 3.29 : Panel yüzeyinin su ve fırça yardımıyla temizlenmesi [16].

3.6.6 Modüllerin arkasında oluşan sıcaklık

Fotovoltaik paneller güneş enerjisinin %10-15'ini elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu nedenle güneş enerjisinin fazlası modüllerde ısınmaya sebep olur [55]. Modül sıcaklığı arttıkça PV performansı düşmektedir. Amorf silisyum hücreler bu sıcaklıktan kristal silisyum hücrelere oranla daha fazla etkilenirler. Bu nedenle daha fazla performans düşüklüğü gösterirler [52].

Fotovoltaik paneller ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı güneş ışığı yoğunluğuna göre değişir ve bazen 40⁰C üzerine kadar çıkabilir. Yaz aylarında dış ortam sıcaklığı yüksek olduğundan panel sıcaklığı 70 -75⁰C'ye kadar yükselebilir [55]. 25⁰C ortam sıcaklığında modüllerde oluşan her 1⁰C artış %0.4 – 0.5 enerji düşüşüne neden olur [52]. PV arkasında oluşan sıcaklık panellerin havalandırmasıyla doğrudan ilişkilidir. Eğer PV arka yüzeyinden havalandırma imkanı vermeyecek şekilde monte edilirse, arka yüzeyde oluşacak sıcaklık nedeniyle performans düşer. Bunun yerine, montaj yüzeyi ile PV panel arka yüzeyi arasında bir hava boşluğu bırakılarak doğal havalandırma sağlanırsa istenmeyen sıcaklık etkileri önlenmiş olur.

Çizelge 3.4'de kristal silikon modüllerden oluşan bir PV panelin çatı ve cephe sistemi ile bağlantılarında, arkasında havalandırma yapıp yapılmamasına bağlı olarak oluşan güç azalmalarına ilişkin bazı gösterge değerler verilmiştir. Bu değerler, çevreden 22⁰C daha sıcak olan ve tamamen serbest duran bir PV sıranın güç çıktısı ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. PV panel arkasında oluşan ortalama sıcaklık değeri tabloda da görüldüğü gibi, havalandırma yapılması halinde 29⁰C iken, havalandırma yapılmaması durumunda 43⁰C'a kadar yükselebilmektedir [55].

Çizelge 3.4 : PV panel arkasında oluşan ortalama sıcaklık değerleri [55].

| Havalandırma Durumu | Çatı | Cephe |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| İyi havalandırma | %2.1 (29 ⁰ C) | %3.9 (35 ⁰ C) |
| Zayıf havalandırma | %2.6 (32 ⁰ C) | %4.8 (39 ⁰ C) |
| Havalandırma olmadan | %5.4 (43 ⁰ C) | %8.9 (55 ⁰ C) |

3.7 Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı

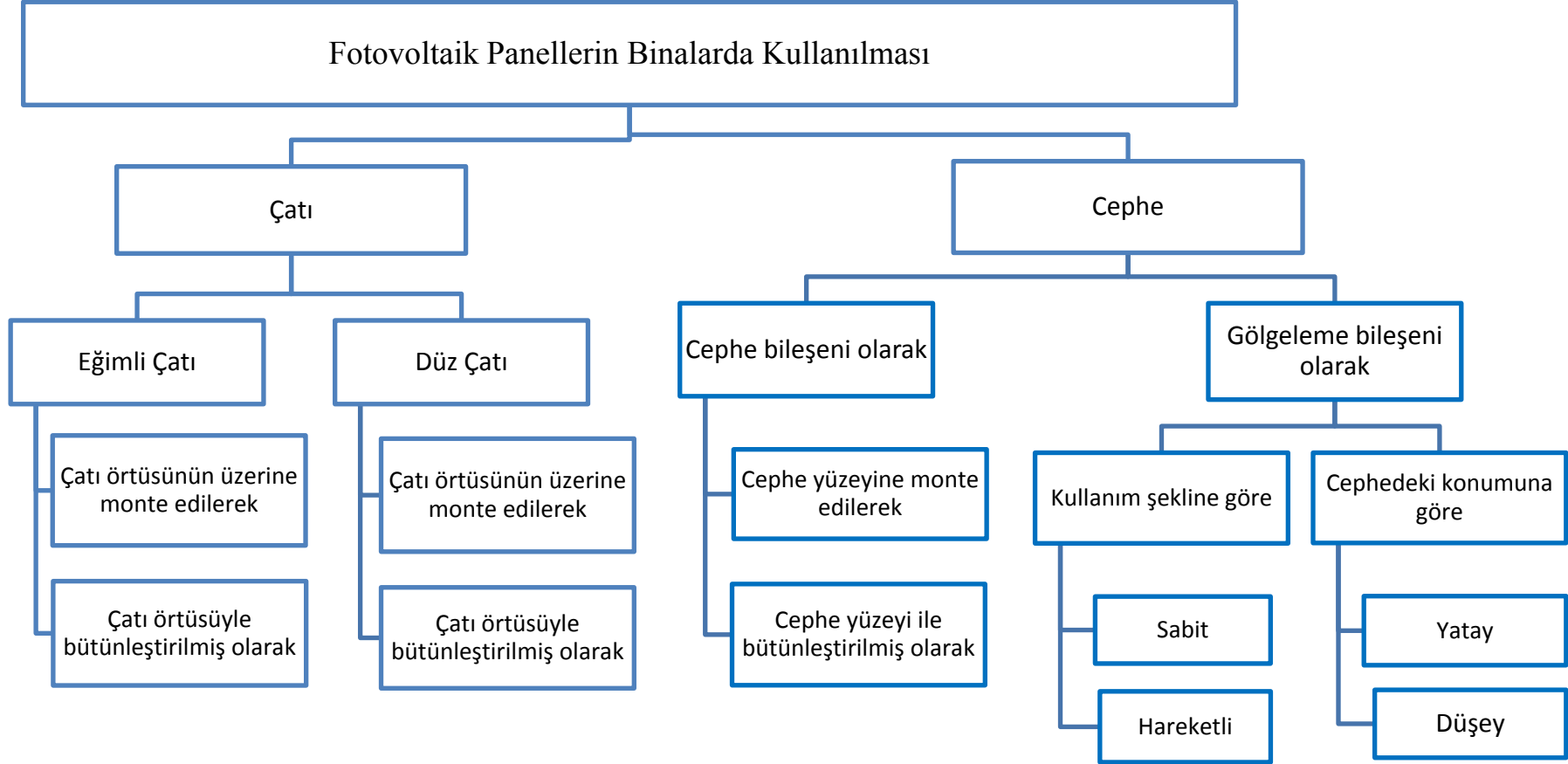
Binaların güneş ışınlarıyla temas eden dış kabuğu fotovoltaik panellerin tasarlanabilmesi için elverişli yüzeylerdir. Bina dış kabuğunu çatı (yatay kabuk) ve cephe (düşey kabuk) olarak ikiye ayırmak mümkündür. Fotovoltaik paneller tercihe ve tasarıma bağlı olarak bazen doğrudan bina kabuğunu oluştururlar bazen de bina kabuğuna sonradan monte edilirler. Çatı yüzeyi çoğunlukla eğimli olduğu için ve gölgelenme ihtimali daha düşük olduğu için, fotovoltaik sistem uygulamalarında en çok tercih edilen seçenektir. Cepheler ise özellikle yüksek katlı binalarda, çatı alanından daha geniş bir uygulama alanına olanak sağlaması nedeniyle tercih sebebi olabilmektedirler. Ayrıca, fotovoltaik paneller, binalarda güneş kırıcı eleman olarak bazen çatı bazen de cephe yüzeyine uygulanabilmektedir. Çizelge 3.5’de fotovoltaik sistemlerin binalarda kullanım alanları özetlenmiştir.

3.7.1 Fotovoltaik panellerin çatıda kullanımı

Çatı yüzeyleri bina kabuğuna uygulanan fotovoltaik paneller için en uygun yerlerden birisidir. Diğer uygulama alanlarına göre; gölgelenme ihtimalinin daha düşük olması, doğru yönlendirme ve eğim açısının sağlanabilmesi, montaj kolaylığı ve estetik açıdan problem yaratmaması gibi avantajları mevcuttur. Özellikle fabrika ya da ofis binaları gibi çatı yüzey alanının daha geniş olduğu yapı tiplerinde çoğunlukla yataydaki uygulamaları tercih edilmektedir.

Fotovoltaik panellerin çatı uygulamaları; mevcut çatı sisteminin üzerine monte edilenler ve doğrudan çatı sistemi ile bütünleştirilmiş olan sistemler olarak sınıflandırılabilir. Mevcut çatı sisteminin üzerine uygulama yapılacağı durumlarda, montaj sistemine karar verilirken, hem montaj aşamasında çatının konstrüksiyon ve yalıtım katmanlarına zarar vermeyecek hem de panellerin çatıya emniyetli bir şekilde bağlanmasını sağlayacak özelliklerde olmasına dikkat edilmelidir [60]. Doğrudan çatı sistemi ile bütünleştirilmiş olan uygulamalarda ise planlama işin başından itibaren fotovoltaik panellere göre yapıldığı için bina tasarımı aşamasında teknik detaylar çözülmektedir.

Çizelge 3.5 : Fotovoltaik panellerin binalarda kullanımı.



Fotovoltaik paneller eğimli ya da düz çatılara uygulanabilmektedir. Düz çatılarda paneller çoğunlukla çatı yüzeyine monte edilen eğimli metal ayaklar üzerine yerleştirilir (Şekil 3.30). eğimleri, binanın bulunduğu bölge için hesaplanan optimal eğim açısına göre düzenlenir. Bu tip uygulamalarda panel arka yüzeyleri açık olduğu için sistemin ihtiyacı olan havalandırma sağlanır. Ancak paneller eğimli metal ayaklar üzerine yerleştirildiklerinden dolayı, birbirlerini gölgelememeleri için güneş geliş açısının dükkate alınması gereklidir. Gerekli ölçümler yapılarak paneller arasında ihtiyaç duyulan boşluğun bırakılması ile gölgeden kaynaklanabilecek olası performans düşüklüklerinin önüne geçilmesi mümkündür.



Şekil 3.30 : Düz çatıda fotovoltaik panel uygulaması [61].

Eğimli çatılarda çoğunlukla çatı eğimi panellerin güneş ışığını maksimumda toplayabilmesi için gerekli panel eğim açısını karşılayabilmektedir. Bu nedenle Şekil 3.31'deki gibi çatı eğimiyle orantılı olarak yerleştirilen metal ızgaralar üzerine panellerin montajı yapılabilmektedir.



Şekil 3.31 : Panellerin eğimli çatı yüzeyinde ızgaralar üzerine yerleştirilmesi [62]

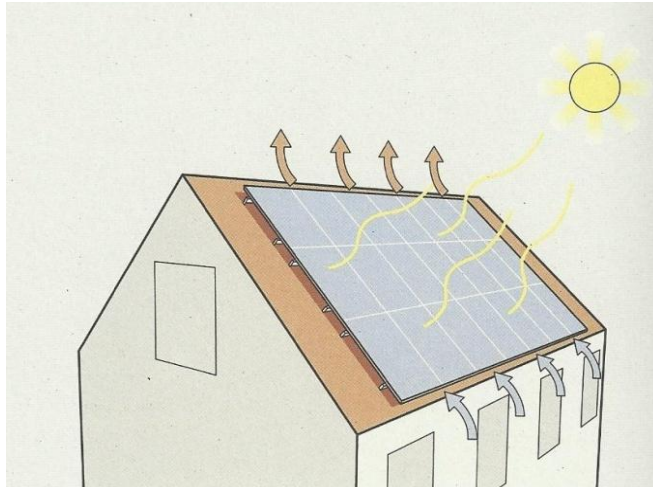
Bir diğer uygulama şekli ise, yine çatı eğimi kullanılarak, panellerin kiremitlerin arasına yerleştirildiği uygulamalardır. Şekil 3.32'de bu tip uygulamaların bir örneği

görülmektedir. Ancak Bölüm 3.6’da da belirtildiği gibi fotovoltaik sistemlerde panellerin arka yüzeylerinin hava alması istenilen bir durumdur. Bu nedenle kiremitlerin arasına yerleştirilen uygulamalarda, panellerin arkasında oluşan fazla sıcaklık sistem performansında düşüslere neden olabilmektedir.



Şekil 3.32 : Fotovoltaik panellerin çatı kiremtlerinin arasına yerleştirilmesi [63].

Şekil 3.33’de görüldüğü gibi ızgaralı bir sistemde; ızgaranın altında oluşan hava sirkülasyonu sayesinde panel arka yüzeylerinde oluşan bu aşırı sıcaklık dengelenebilmektedir.



Şekil 3.33 : Izgaralı sistemlerde panel arka yüzeyinin havalandırılması [64].

3.7.2 Fotovoltaik panellerin cephede kullanımı

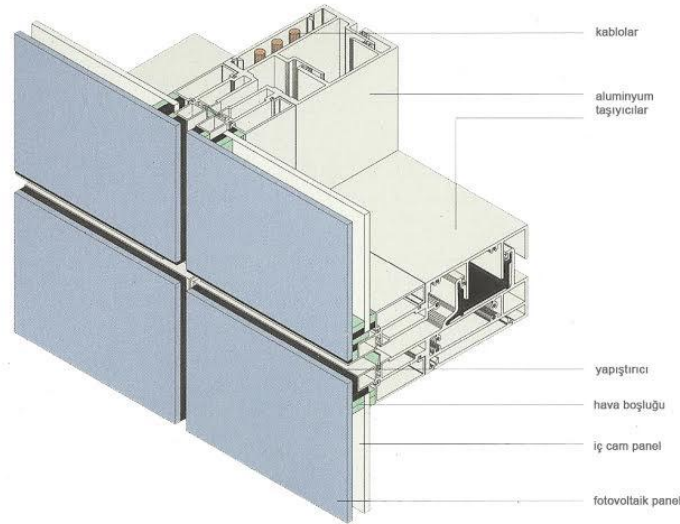
Bina kabuğunun büyük bir kısmını meydana getiren cepheler, iç mekan ile dış mekanı birbirinden ayırarak iç mekan konfor koşullarının sağlanmasında en büyük role sahip yapı bileşeni olma özelliğini taşırlar. Cephelerin hem ısı konfor sağlamada önemli rol oynaması hem de estetik açıdan binanın önemli bir parçası olması nedeniyle, bu alanlardaki fotovoltaik panel uygulamaları çatı uygulamaları

kadar yaygınlaşmamıştır. Fotovoltaik panellerin cephedeki uygulamalarını; panellerin cephe elemanı olarak kullanımı ve gölgeleme bileşeni olarak kullanımı olmak üzere iki ana başlık altında toplamak mümkündür.

3.7.2.1 Fotovoltaik panellerin cephe elemanı olarak kullanımı

Fotovoltaik panellerin cephe elemanı olarak kullanımı, mevcut cephe elemanlarının üzerine monte edilerek yapılan uygulamalar ve doğrudan cephe elemanı olarak kullanıldığı uygulamalar olarak sınıflandırılabilir.

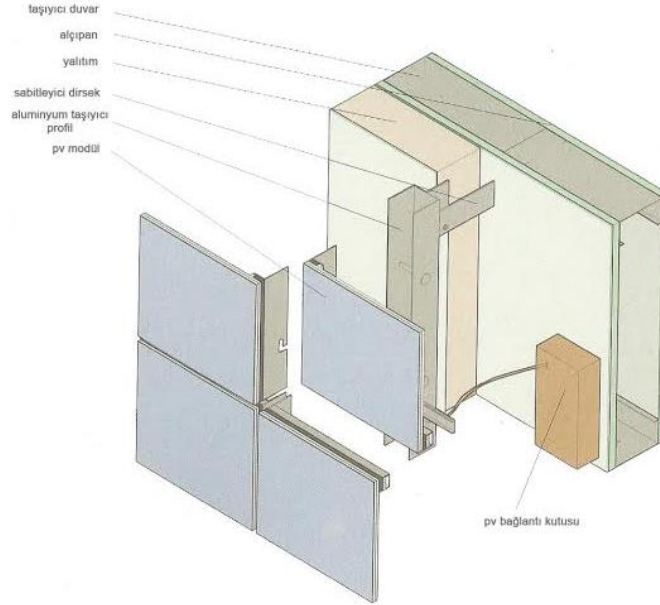
Mevcut cephe elemanlarının üzerine monte edilen uygulamalarda; giydirme cephe ve yağmur perdesi uygulamaları yaygın olarak tercih edilmektedir. Giydirme cephe sistemleri; yapının taşıyıcı sistemine bağlanmış çoğunlukla metal konstrüksiyon üzerine çeşitli montaj parçaları yardımıyla monte edilen panellerden meydana gelen ve bir binanın cephe sisteminden beklenen fiziksel çevre kontrolünü sağlayan sistemlerdir. Giydirme cephe sistemlerinde kullanılan taş, cam, ahşap yada kompozit paneller yerine fotovoltaik panellerin kullanılmasıyla, hem giydirme cepheden beklenen performans sağlanmakta hem de fotovoltaikler sayesinde enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.34’de fotovoltaik paneller kullanılarak oluşturulmuş bir giydirme cephe detayı görülmektedir.



Şekil 3.34 : Fotovoltaik paneller ile giydirme cephe uygulaması [64].

Fotovoltaik panellerin mevcut cephe elemanlarının üzerine monte edilerek kullanıldığı bir diğer uygulama ise yağmur perdeleridir. Bu sistemlerde, paneller giydirme cephe sisteminde olduğu gibi binanın taşıyıcılarına yerleştirilen metal

konstrüksiyon üzerine monte edilir. Ancak yağmur perde sistemlerinde bina yüzeyi ile paneller arasında bir miktar boşluk bırakılır. Böylece hem panel arka yüzeyi havalandırılarak performans düşüşlerinin önüne geçilmiş olur hem de bu boşlukta yüzeyde biriken suyun tahliyesi sağlanır. Şekil 3.35’de fotovoltaik paneller kullanılarak oluşturulmuş yağmur perdesi sistem detayı görülmektedir.



Şekil 3.35 : Fotovoltaik panellerin yağmur perdesi cephe sisteminde kullanımı [64].

Fotovoltaik panellerin, doğrudan cephe elemanı olarak kullanıldığı uygulamalarda ise; panel, cepheyi oluşturan bileşenlerden birisidir ve cepheden beklenen performans gereksinmelerini karşılamada görev üstlenmiştir. Şekil 3.36’deki gibi tüm bina cephesine uygulanabildiği gibi, Şekil 3.37’deki gibi aralıklı olarak yapılan örnekleri de mevcuttur. Şekil 3.38’deki bina cephesinde ise, yarı geçirgen fotovoltaik hücreler kullanılarak hem güneş kontrolü belli ölçüde sağlanabilmekte hem de panellerden elektrik elde edilebilmektedir.



Şekil 3.36 : Tüm cephe yüzeyine uygulama [65].



Şekil 3.37 : Cephe yüzeyine aralıklı olarak uygulama [66].



Şekil 3.38 : Bina cephesine yarı geçirgen panellerin uygulanması [67].

3.7.2.2 Fotovoltaik panellerin gölgeleme bileşeni olarak kullanımı

Fotovoltaik panellerin bina cephesinde bir diğer kullanım şekli de gölgeleme bileşeni olarak kullanımıdır. Bina cephesine gelen güneş ışınımı hacimlerin aydınlatılmasında olumlu etki yaratarak aydınlatma yükü ihtiyacında düşüş sağlamakla birlikte, fazla olması halinde mekanın aşırı ısınmasına ve soğutma yükünde artışa neden olmaktadır. Bu nedenle uygun tasarlanmış bir gölgeleme bileşeni ile hem direkt güneş ışığını kontrol ederek görsel konfor koşullarını hem de iklimsel konfor koşullarını sağlamak mümkündür [68].

Bir gölgeleme bileşeni, istenmeyen ısı kazancını azaltırken kamaşmaya engel olmakta ve yeterli miktarda güneş ışığını da iç mekana almaktadır. Bu amaca yönelik olarak tasarlanan gölgeleme bileşenleri kullanım şekillerine göre sabit ya da

hareketli, cephedeki konumuna göre ise yatay ya da düşey olarak tasarlanabilmektedir [69].

Kullanım şekillerine göre değerlendirildiğinde; sabit olanlar sadece gölgeleme sağlarken, hareketli olanlar günün belirli saatlerinde güneş ışınımının mekana girmesini sağlayarak aydınlatma yüküne; sıcaklık artışı olan saatlerde ise gölgeleme yaratarak soğutma yüküne katkı sağlamaktadır [68]. Şekil 3.39’da fotovoltaik panellerin sabit gölgeleme bileşeni olarak, Şekil 3.40’da ise hareketli gölgeleme bileşeni olarak kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 3.39 : Fotovoltaik panellerin sabit gölgeleme bileşeni olarak kullanımı [70].



Şekil 3.40 : Fotovoltaik panellerin hareketli gölgeleme bileşeni olarak kullanımı[71].

Cephedeki konumuna göre değerlendirildiğinde; yatay olanlar çoğunlukla güneye yönelen cephelerde, düşey olanlar ise doğu ve batıya yönelen cephelerde uygulanırlar. Yatay gölgeleme bileşenleri güneş ışınlarının geliş açısına uygun olarak konumlandıkları için düşey olanlardan daha çok tercih edilirler. Şekil 3.41’de fotovoltaik panellerin yatay gölgeleme bileşeni olarak, Şekil 3.42’de ise düşey gölgeleme bileşeni olarak kullanıldığı örnekler görülmektedir.



Şekil 3.41 : Fotovoltaik panellerin yatay gölgeleme bileşeni kullanımı [72].



Şekil 3.42 : Fotovoltaik panellerin düşey gölgeleme bileşeni kullanımı [73].

Fotovoltaik panellerin gölgeleme bileşeni olarak kullanımı, cephedeki konumundan dolayı panel arka yüzeylerinin havalanmasına olanak sağlaması ve ek bir konstrüksiyon maliyeti gerektirmemesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Güneşin geliş açısına göre ayarlama imkanı olan hareketli gölgeleme bileşenleri, hem üzerindeki fotovoltaik panelden daha yüksek performans alınması hem de güneş

kontrolünün daha verimli sağlanabilmesi açısından sabit sistemlere göre daha olumludur.

Gölgeleme bileşenlerinde; çoğunlukla ince film amorf silisyum fotovoltaik hücreler tercih edilir ancak bazen tam bir gölgeleme istenmeyebilir. Böyle durumlar için yarı saydam özellik gösteren amorf silisyum hücreler tercih edilmektedir. Şekil 3.43’de amorf silisyum hücre kullanılarak tasarlanmış bir saçak bileşeni görülmektedir.



Şekil 3.43 : Fotovoltaik paneller ile yarı geçirgen saçak bileşeni uygulaması [74].

3.8 Bölüm Sonucu

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi sağlamada kullanılan fotovoltaik sistemleri şebeke bağlantılı sistemler ve şebekeden bağımsız (tekil) sistemler olarak sınıflandırmak mümkündür. Fotovoltaik sistemi meydana getiren bileşenler ise, hücreler, aküler, şarj denetim birimleri ve çeviriciler olarak sayılabilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan hücre çeşitleri monokristal ve polikristal hücrelerdir. Bu çalışmada şehir şebekesi ile bağlantılı, polikristal silisyum hücrelerden meydana gelen bir fotovoltaik sistem tasarlanmıştır.

Fotovoltaik sistemlerin binalarda; çatı bileşeni olarak, cephe bileşeni olarak ve gölgeleme bileşeni olarak kullanım alanları mevcuttur. En yaygın olarak bina çatı uygulamaları görülmektedir. Binalarda kullanılan fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen faktörler; konum, yönlendirme ve eğim açısı, gölgeleme, panel tipi, modüllerin arkasında oluşan sıcaklık, bakım ve temizlik olarak sayılabilir.

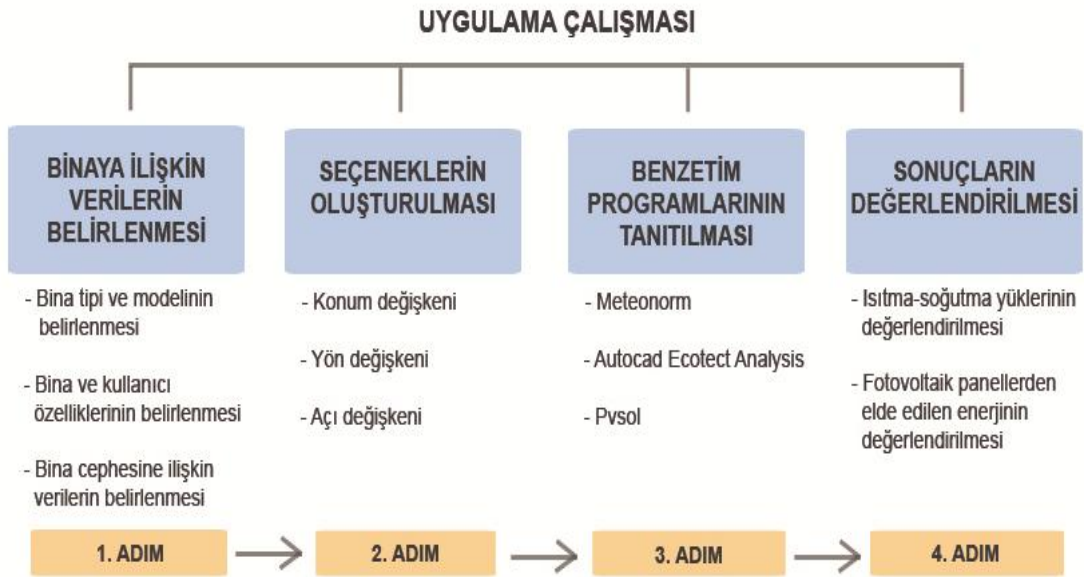
Bu çalışmada; fotovoltaik panellerin gölgeleme bileşeni olarak kullanıldığı durum için bir model tasarlanarak, bu modelin Türkiye'nin belirlenen farklı şehirlerinde, farklı yönlerde ve eğim açılarında, açık bir alanda konumlandırıldığı ve modül arka yüzeylerinin havalandırıldığı durum için sistemden elde edilecek performans araştırılacaktır.

4. UYGULAMA

Bina cephesinde gölgeleme bileşeni olarak kullanılan fotovoltaik panellerin enerji etkinliklerinin değerlendirileceği bu bölümde; varsayımsal bir bina tasarlanarak, bu binanın farklı durumlar için ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları hesaplanmakta ve bu ihtiyacın ne kadarının fotovoltaik paneller kullanılarak karşılanabileceği araştırılmaktadır.

Uygulama çalışmasının süreci, Çizelge 4.1’de verilmiş adımlardan oluşmaktadır. İlk olarak konum, iklim verileri vb. gibi binaya ilişkin özellikler belirlenmiştir. Bir sonraki adımda farklı değişkenler için seçenekler oluşturulmuştur. Üçüncü adımda elde edilmek istenen veriler için uygun benzetim programları belirlenmiştir. Bu programlar yardımıyla, her seçenek için ayrı ayrı binanın ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri ile gölgeleme bileşenlerinin üzerine yerleştirilen fotovoltaik panellerden elde edilen enerji miktarları hesaplanmıştır. Son adımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak enerji etkinlik açısından değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çizelge 4.1 : Bina cephesinde gölgeleme bileşeni olarak kullanılan fotovoltaik panellerin enerji etkinliklerinin değerlendirilmesinde uygulama adımları.



4.1 Binaya İlişkin Verilerin Belirlenmesi

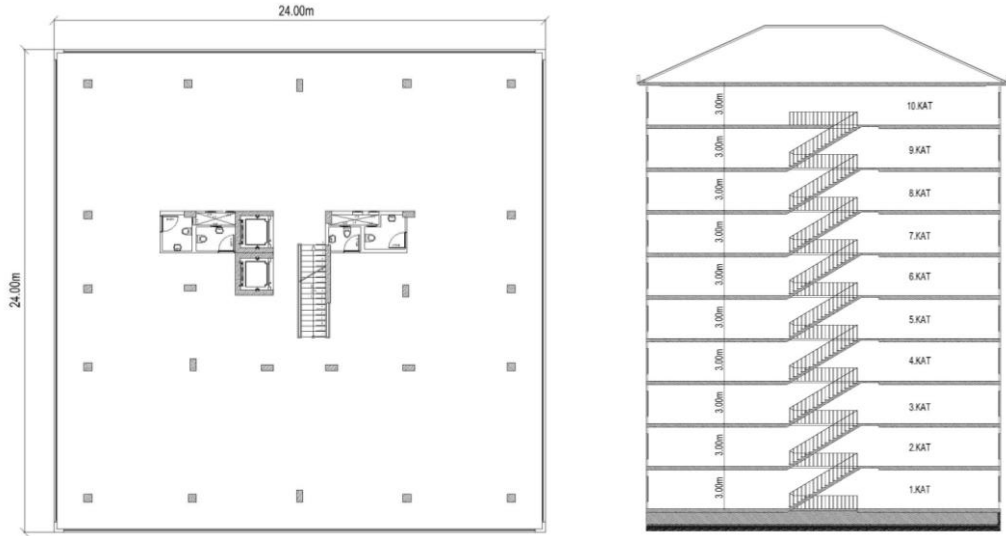
Çalışmanın ilk adımında benzetimi yapılacak olan binaya ilişkin veriler belirlenmiştir. Bu doğrultuda izlenen yol Çizelge 4.2’de özetlenmiştir. Öncelikle binanın tipine, formuna ve boyutlarına karar verilmiştir. Daha sonra dış ve iç ortama ilişkin veriler, kullanıcı özellikleri ve mekanik sistem özellikleri belirlenmiştir. Son olarak da cepheye ilişkin veriler olan; katmanlaşma, gölgeleme bileşeni ve fotovoltaik sistem özellikleri hakkındaki kararlar alınmıştır. Binaya ilişkin verilerin belirlenmesinde izlenen yol Çizelge 4.2’ de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 : Binaya ilişkin verilerin belirlenmesinde izlenen yol.



4.1.1 Bina tipi ve modelinin belirlenmesi

Bina tipi olarak gündüz saatlerinde yoğun elektrik tüketimi olan, gece saatlerinde ise elektrik enerjisi ihtiyacı daha düşük seviyelere inen ofis binası tercih edilmiştir. Ofis binası tercihinde fotovoltaik panellerin gündüz saatlerinde ürettiği enerjinin depolamaya ihtiyaç duyulmadan doğrudan kullanılması amaçlanmıştır. Binanın etrafında binaya gölge düşürecek herhangi bir cisim olmadığı varsayılmıştır. Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi, 24x24m boyutlarında kare planlı binanın plan tipi olarak açık ofis tercih edilmiştir. Bu plan tipinde bina çekirdeği(merdivenler, tesisat shaftları, asansörler ve WC’ler) binanın merkezinde konumlanmaktadır. Kat yüksekliği 3m ve kat adedi 10 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1 : Model ofis binası şematik tip kat planı ve kesiti.

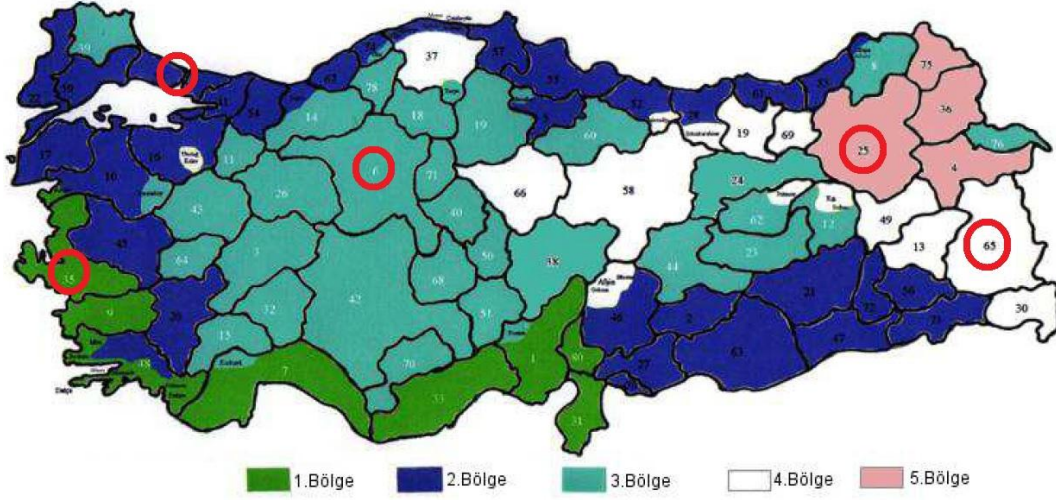
Binanın her cephesi bir diğerinin simetriğidir ve her katta her cephe boyunca 23m uzunluğunda 1.5m yüksekliğinde pencere yüzeyleri bulunmaktadır. Bina çatısının %30 eğimli kırma çatı olduğu ve çatı arasının kullanılmadığı varsayılmıştır.

4.1.2 Bina çevresi ve kullanıcı özelliklerinin belirlenmesi

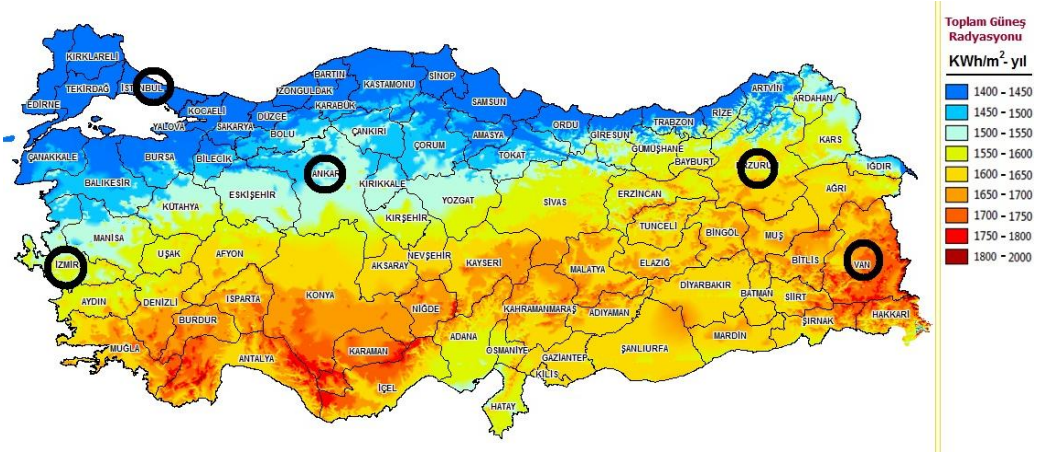
Bölüm 4.1’de belirlenmiş bina tipinin dış ve iç ortam koşulları ile kullanıcı profiline ilişkin veriler bu aşamada belirlenmektedir.

4.1.2.1 Dış ortam koşullarına ilişkin veriler

Benzetimi yapılacak ofis binasının konumlandırılacağı şehir, bu çalışma için oluşturulacak seçeneklerde değişken veri olarak alınmıştır. Binanın konumuna, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı (TSE 825) Ek D’de belirlenmiş derece gün bölgeleri ile Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli (GEPA) atlasında verilmiş güneş enerjisi potansiyelleri dikkate alınarak karar verilmiştir [12,75]. Seçimde her bir şehrin ayrı gün derece bölgesinde ve farklı güneş enerjisi potansiyeline sahip şehirler olmasına dikkat edilmiştir. Bu doğrultuda seçilen iller; İzmir, İstanbul, Ankara, Erzurum ve Van’dır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 deki haritalar üzerine, uygulama için seçilen iller ve bu illerin güneşlenme potansiyeli atlasında yer aldıkları bölgeler işaretlenmiştir.



Şekil 4.2 : Tse 825 derece gün bölgelerine göre seçilen şehirler [75].



Şekil 4.3 : GEPA'ya göre seçilen iller [12].

Bu haritalara göre; 1. bölgede yer alan İzmir ili, yıllık ortalama 1550-1600 kWh/m²lik güneş potansiyeline sahip iken; bu değer 2. bölgede yer alan İstanbul ili için 1400-1450 kWh/m², 3. bölgede yer alan Ankara ili için 1500-1550 kWh/m², 4. bölgede yer alan Van ili için 1800-2000 kWh/m² ve son olarak 5. bölgede yer alan Erzurum ili için ise 1600-1650 kWh/m² civarındadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 : Seçilen illerin bulunduğu iklim bölgeleri ve güneşlenme potansiyeli değerleri.

| İl | İklim bölgesi | Güneş potansiyeli (kWh/m ² -yıl) |
|----------|---------------|---|
| İzmir | 1. Bölge | 1550-1600 |
| İstanbul | 2. Bölge | 1400-1450 |
| Ankara | 3. Bölge | 1500-1550 |
| Van | 4. Bölge | 1700-1750 |
| Erzurum | 5. Bölge | 1600-1650 |

Bu iller için gerekli iklimsel veriler (enlem ve boylam değeri, güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı, yağış miktarı ile rüzgar hızı ve yönü) kapsamlı bir iklim veri tabanı olan Meteororm programı yardımıyla türetilen 'epw' uzantılı iklim dosyalarının Ecotect programına tanıtılması yoluyla sağlanmıştır. Bu programa ilişkin detaylı açıklama Bölüm 4.3.1'de verilmiştir.

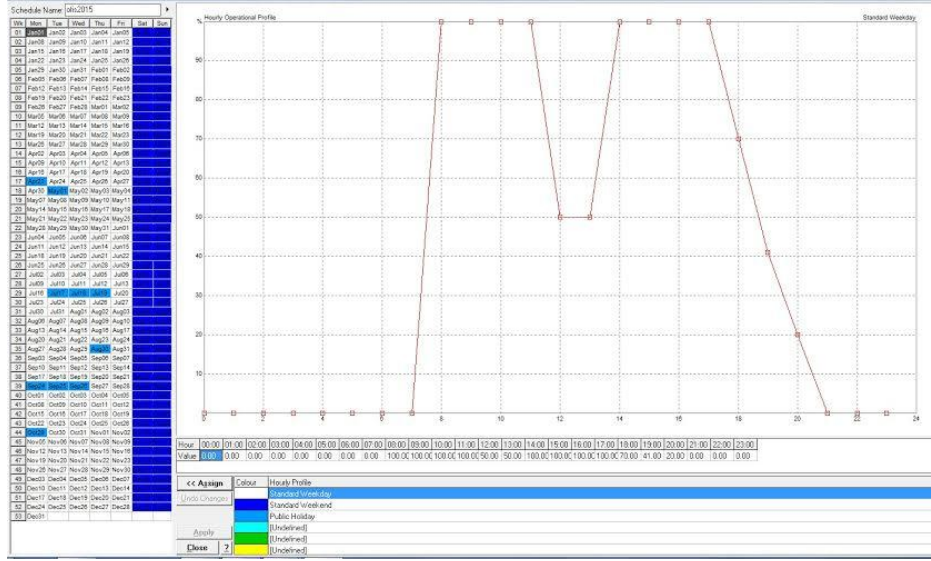
4.1.2.2 İç ortam ve kullanıcılarına ilişkin veriler

Benzetimi yapılacak olan ofis binası için belirlenen iç ortam ve kullanıcılarına ait veriler tüm seçenekler için sabit alınmıştır. Bina taban alanı 576 m²'dir ve her katta eşit olarak alınmıştır. Kat başına kişi sayısı 29 olarak tanımlanmış ve her kullanıcı için brüt 20m²'lik bir alan ihtiyacı belirlenmiştir. Binada toplam çalışan sayısı 290 kişidir. Kullanıcıların iş kıyafetleri ile çalıştığı göz önüne alınarak kıyafet faktörü '1.00 clo' olarak kabul edilmiştir. Açık ofis düzeninde çalışanlar günün büyük bölümünde masa başında oturarak çalışacağı için aktivite düzeyi 70W olarak alınmıştır. Aydınlatma ise TS EN 12464 nolu 'Işık ve Işıklandırma- İş mahallerinin Aydınlatılması' standartına göre 400lux olarak kabul edilmiştir.

Binada ihtiyaç duyulduğunda pencereler açılarak doğal havalandırma yapılabildiği, ısıtma ve soğutma için ise klima sistemi kullanıldığı varsayılmıştır. Bağıl nem oranı %60 olarak tutulmuştur. ASHRAE 55 standardına göre bağıl nem oranı %30 ile %70 arasında olan iç ortamlarda ideal sıcaklık değerleri; yaz ayları için 24.5 °C (+/-1.5°C), kış ayları için 22°C (+/- 2°C) olarak belirlenmiştir [76]. Bu nedenle benzetim yapılacak ofis binasında ortam sıcaklığı 22°C'nin altına düştüğünde HVAC sistemi devreye girerek ısıtma, 26°C'nin üzerine çıktığı durumlarda ise soğutma yapacak şekilde düzenlenmiştir. Tatil günlerinde ve mesai saatleri dışında ise iç ortam sıcaklığı 12°C'de tutulmaktadır. Binada çalışma saatleri Pazartesi'den Cuma'ya 08.00-17.00 arasındadır. Binanın hafta sonları ve resmi tatil günleri belirlenerek oluşturulan çalışma takvimi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

4.1.3 Bina cephesine ilişkin veriler

Bu bölümde benzetim yapılacak bina modeli için seçilen yapı elemanı katmanlaşma modelleri, malzemelere ait özellikler, tercih edilen gölgeleme bileşeni ve fotovoltaik sistem hakkındaki bilgiler verilmektedir.



Şekil 4.4 : Yıllık çalışma takvimi.

4.1.3.1 Katmanlaşma

Binanın dış ortam ile temas eden yapı elemanları için gerekli ısı yalıtım malzemesi kalınlıkları; Çizelge 4.4'de gösterilen TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında belirlenmiş, tavsiye edilen U değerleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 : TS 825'e göre tavsiye edilen U değerleri [75].

| İl | İklim bölgesi | U _D (W/m ² K) | U _T (W/m ² K) | U _t (W/m ² K) | U _p |
|----------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| İzmir | 1.Bölge | 0,66 | 0,43 | 0,66 | 1,8 |
| İstanbul | 2.Bölge | 0,57 | 0,38 | 0,57 | 1,8 |
| Ankara | 3.Bölge | 0,48 | 0,28 | 0,43 | 1,8 |
| Van | 4.Bölge | 0,38 | 0,23 | 0,38 | 1,8 |
| Erzurum | 5.Bölge | 0,36 | 0,21 | 0,36 | 1,8 |

U_D = Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı

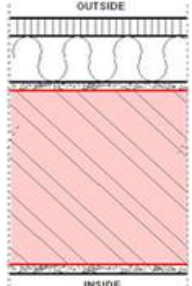


U_T = Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı

U_t = Zemine oturan tabanın/döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı

U_p = Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı

Benzetim için tasarlanan yapı elemanları; duvarlar, döşemeler, çatı ve pencereler olarak sınıflandırılabilir. Bunlardan duvarlar; tuğla dış duvar, tuğla iç duvar ve betonarme perde duvar olarak, döşemeler ise; ara kat döşemesi ve zemine oturan döşeme olarak gruplandırılmıştır. Benzetimde kullanılan yapı elemanlarına ait malzeme özellikleri (kalınlık, birim hacim kütlesi, ısıl iletkenlik hesap değeri, ısıl geçirgenlik direnci, yüzeyel ısıl iletim direnci değerleri) ve katmanlaşma modelleri Çizelge 4.5'de özetlenmiştir. Bu değerlere göre hesaplanan U değerleri ise Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Yapı elemanlarına ait malzeme özellikleri ve katmanlaşma modelleri.

| | | Malzeme | Kalınlık d (m) | Birim hacim kütlesi (kg/m ³) | Isıl iletkenlik hesap değeri λ_B (W/mK) | Isıl geçirgenlik direnci R (m ² K/W) | Yüzeysel ısı iletim direnci 1/ α (m ² K/W) | Katmanlaşma |
|--|--|--|----------------------|--|--|--|---|---|
| | | | | | | | | |
| DUVAR | Tuğla Dış Duvar | Dış ortam | - | - | - | - | 0.04 |  |
| | | Anorganik esaslı dış sıva (TS 825 Ek 5-4.8.2) | 0.02 | 900 | 0.35 | 0.057 | | |
| | | Eps (TS 825 Ek 5-10.3.1.1) | 0.03 (İzmir) | 19 | 0.035 | 0.85 | | |
| | | | 0.04 (İstanbul) | | | 1.14 | | |
| | | | 0.05 (Ankara) | | | 1.42 | | |
| | | | 0.07 (Van) | | | 2 | | |
| | | | 0.075 (Erzurum) | | | 2.14 | | |
| | | Çimento harcı (TS 825 Ek 5-4.2) | 0.01 | 2000 | 1.60 | 0.006 | | |
| | Tuğla (yatay delikli) (TS 825 Ek 5-7.1.5) | 0.19 | 1000 | 0.45 | 0.42 | | | |
| | Kireç-çimento harcı (iç sıva) (TS 825 Ek 5-4.1) | 0.01 | 1800 | 1.0 | 0.01 | | | |
| | İç ortam | - | - | - | - | 0.13 | | |
| | Tuğla İç Duvar | İç ortam | - | - | - | - | 0.13 |  |
| | | Kireç-çimento harcı (iç sıva) (TS 825 Ek 5-4.1) | 0.01 | 1800 | 1.0 | 0.01 | | |
| | | Tuğla (yatay delikli) (TS 825 Ek 5-7.1.5) | 0.085 | 1000 | 0.45 | 0.18 | | |
| | | Kireç-çimento harcı (iç sıva) (TS 825 Ek 5-4.1) | 0.01 | 1800 | 1.0 | 0.01 | | |
| | | İç ortam | - | - | - | - | 0.13 | |
| | Betonarme perde Duvar | İç ortam | - | - | - | - | 0.13 |  |
| | | Kireç-çimento harcı (iç sıva) (TS 825 Ek 5-4.1) | 0.01 | 1800 | 1.0 | 0.01 | | |
| Donatılı beton (TS 825 Ek 5-5.1) | | 0.20 | 2400 | 2.20 | 0.09 | | | |
| Kireç-çimento harcı (iç sıva) (TS 825 Ek 5-4.1) | | 0.01 | 1800 | 1.0 | 0.01 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|----------------------|--|-----------------|-------|-------|-------|------|--|
| DÖŞEME | Ara Kat Döşemesi | İç ortam | - | - | - | - | 0.13 | |
| | | PVC kaplama (TS 825 Ek 5-9.1.3) | 0.005 | 1500 | 0.23 | 0.021 | | |
| | | Çimento harçlı şap (TS 825 Ek 5- 4.6) | 0.02 | 2000 | 1.40 | 0.014 | | |
| | | Kontrplak – su kontrası (TS 825 Ek 5-8.2.1) | 0.02 | 800 | 0.13 | 0.153 | | |
| | | Eps (TS 825 Ek 5-10.3.1.1) | 0.05 | 19 | 0.035 | 1.428 | | |
| | | Donatılı beton (TS 825 Ek 5- 5.1) | 0.12 | 2400 | 2.20 | 0.054 | | |
| | | Gaz beton (TS 825 Ek 5- 5.5) | 0.18 | 900 | 0.29 | 0.62 | | |
| | | Kireç-çimento harcı (iç sıva) (TS 825 Ek 5-4.1) | 0.01 | 1800 | 1.0 | 0.01 | | |
| | | İç ortam | - | - | - | - | 0.13 | |
| | Zemine Oturan Döşeme | İç ortam | - | - | - | - | 0.17 | |
| | | PVC kaplama (TS 825 Ek 5- 9.1.3) | 0.005 | 1500 | 0.23 | 0.021 | | |
| | | Çimento harçlı şap (TS 825 Ek 5-4.6) | 0.02 | 2000 | 1.40 | 0.014 | | |
| | | Kontrplak (TS 825 Ek 5- 8.2.1) | 0.02 | 800 | 0.13 | 0.153 | | |
| | | Eps (TS 825 Ek 5-10.3.1.1) | 0.03 (İzmir) | 19 | 0.035 | 0.85 | | |
| | | | 0.03 (İstanbul) | | | 0.85 | | |
| | | | 0.05 (Ankara) | | | 1.42 | | |
| | | | 0.06 (Van) | | | 1.71 | | |
| | | | 0.07 (Erzurum) | | | 1.99 | | |
| | | Donatılı beton (TS 825 Ek 5- 5.1) | 0.80 | 2400 | 2.20 | 0.363 | | |
| | | Su yalıtımı (TS 825 Ek 5- 9.2.2.1) | 0.006 | 2000 | 0.19 | 0.031 | | |
| Çimento harçlı şap (tesviye şapı) (TS 825 Ek 5- 4.6) | 0.02 | 2000 | 1.40 | 0.014 | | | | |
| Grobeton (TS 825 Ek 5- 5.3.1) | 0.10 | 1800 | 1.10 | 0.090 | | | | |
| Blokaj (TS 825 Ek 5- 3.1) | 0.15 | 1800 | 0.70 | 0.214 | | | | |
| Dış ortam | - | - | - | - | 0 | | | |

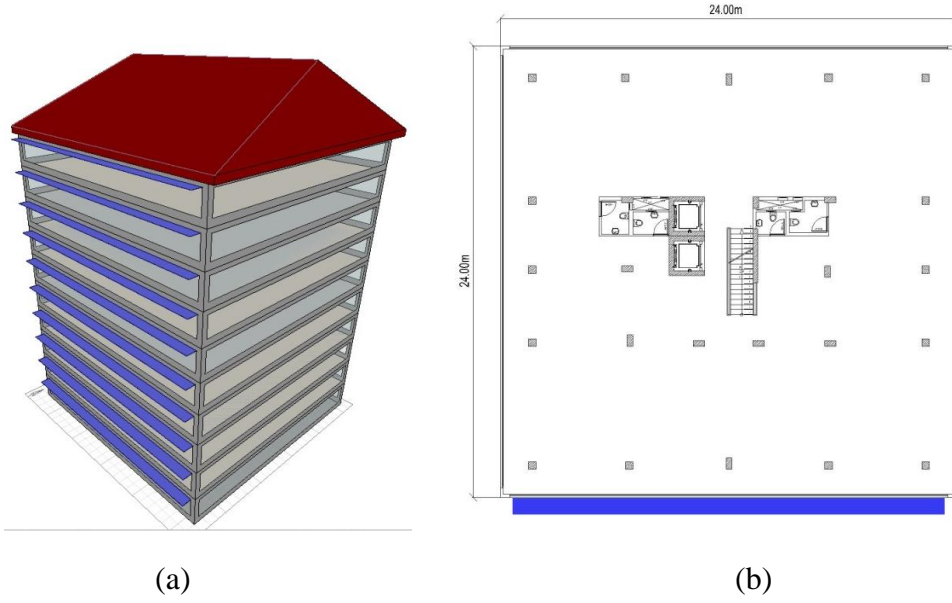
| | | | | | | | | | |
|--|----------------------|---------------------------------------|-----------------|------|-------|-------|------|--|--|
| ÇATI | Kırma Çatı | Dış ortam | - | - | - | - | 0.4 | | |
| | | Shingle kaplama | 0.006 | 900 | 0.088 | 0.068 | | | |
| | | Su yalıtımı (TS 825 Ek 5- 9.2.2.1) | 0.006 | 2000 | 0.19 | 0.031 | | | |
| | | Beton (TS 825 Ek 5- 5.2) | 0.150 | 2200 | 1.65 | 0.09 | | | |
| | | Eps (TS 825 Ek 5-10.3.1.1) | 0.06 (İzmir) | 19 | 0.035 | 1.71 | | | |
| | | | 0.07 (İstanbul) | | | 1.99 | | | |
| | | | 0.10 (Ankara) | | | 2.85 | | | |
| | | | 0.13 (Van) | | | 3.71 | | | |
| 0.14 (Erzurum) | 4 | | | | | | | | |
| Kireç-çimento harcı (iç sıva) (TS 825 Ek 5-4.1) | 0.01 | 1800 | 1.0 | 0.01 | | | | | |
| İç ortam | - | - | - | - | 0.13 | | | | |
| PENCERE | Alüminyum Doğrama | İç ortam | - | - | - | - | 0.13 | | |
| | | Temperli cam | 0.006 | 2300 | 1.046 | 0.005 | | | |
| | | Hava boşluğu | 0.016 | 1.3 | 5.560 | 0.002 | | | |
| | | Berrak cam | 0.006 | 2300 | 1.046 | 0.005 | | | |
| | | Dış ortam | - | - | - | - | 0.4 | | |

Çizelge 4.6 : Yapı elemanları için hesaplanan U değerleri ve ısı yalıtım malzemesi kalınlıkları.

| İl | U_D (W/m ² K) | Isı yalıtım kalınlığı (cm) | U_T (W/m ² K) | Isı yalıtım kalınlığı (cm) | U_t (W/m ² K) | Isı yalıtım kalınlığı (cm) | U_p |
|----------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------|
| İzmir | 0,65 | 3 | 0,41 | 6 | 0,57 | 3 | 1,8 |
| İstanbul | 0,55 | 4 | 0,36 | 7 | 0,57 | 3 | 1,8 |
| Ankara | 0,48 | 5 | 0,28 | 10 | 0,43 | 5 | 1,8 |
| Van | 0,37 | 7 | 0,22 | 13 | 0,38 | 6 | 1,8 |
| Erzurum | 0,36 | 8 | 0,21 | 14 | 0,34 | 7 | 1,8 |

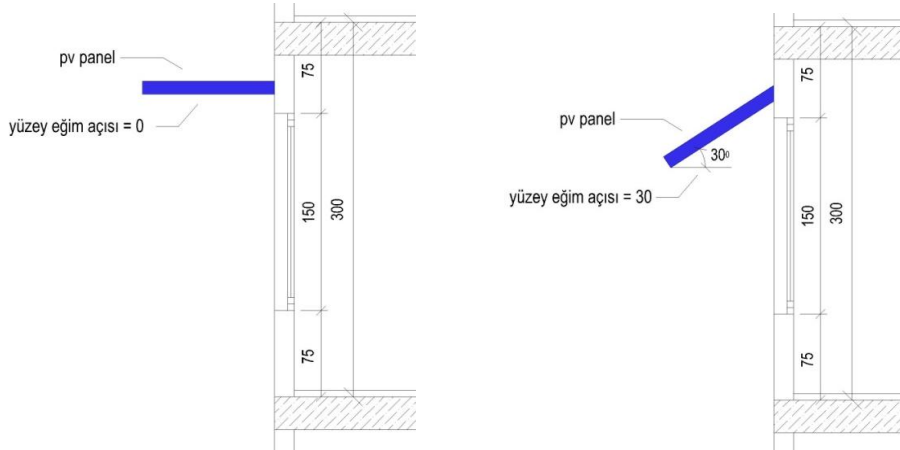
4.1.3.2 Fotovoltaik sistem

Benzetim yapılan binanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi yükünün belli bir kısmının karşılanması amacıyla fotovoltaik panellerin kullanılması planlanmıştır. Çalışmada kullanılan fotovoltaik paneller gölgeleme bileşeni olarak tasarlanmıştır. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi fotovoltaik paneller binanın tek cephesine 22m boyunda ve 1m genişliğinde tüm katlarda (10 kat) pencere üzerine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Sistemden elde edilecek enerji miktarı kuzey, güney, doğu ve batı yönleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 : (a) Fotovoltaik panellerin cephede yerleşimi (b)Fotovoltaik panellerin kat planında yerleşimi.

Panellerin yüzey eğim açılarının 0° ve 30° oldukları varsayılmıştır. Seçeneklerde kullanılan panel yüzey eğim açıları Şekil 4.6’da gösterilmektedir.



Şekil 4.6 : Fotovoltaik panellerin yüzey eğim açıları.

Her bir panel 1640x990x40mm ebatında ve 19,1 kg ağırlığındadır. Panellere ait mekanik özellikler Şekil 4.7’de görülmektedir. Bina cephesinde toplamda 130 adet fotovoltaik panel kullanılmıştır. Panellerin kapladığı toplam alan 211 m²’dir. Yüksek verim oranları dolayısıyla polikristal hücreler tercih edilmiştir. Kullanılan panellerin verimi %16.01’dir. Her panel 260Wp’lık güce sahiptir. Sistemin toplam kurulu gücü 33.8 kWp’dir.

| | |
|-----------------|---|
| Boyutlar | 1640 x 990 x 40 mm |
| Ağırlık | 19,1 kg |
| Çerçeve | Eloksallı alüminyum profil |
| Ön cam | Beyaz sertleştirilmiş cam, 3,2 mm |
| Hücre Kaplaması | EVA (Etilen-Vinil-Asetat) |
| Arka Levha | Kompozit film |
| Hücreler | 6 x 10 parça polikristalin güneş hücresi serisi (156 mm x 156 mm) |
| Bağlantı Kutusu | Ölçülen akım ≥ 12A, IP ≥ 65, TÜV |
| Kablo | Uzunluk 900 mm, 1 x 4 mm ² |
| Bağlantı | MC4/ MC4 ile uygun |

Şekil 4.7 : Kullanılan fotovoltaik panellerin mekanik özellikleri [77].

Fotovoltaik sistemin ürettiği doğru akımın (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürülebilmesi için her biri 645x431x204mm ebatında ve 19.9 kg ağırlığında olan 10 adet çevirici kullanılmıştır [78].

Sistemde üretilen elektriğin depolanmasına ihtiyaç duyulmadığından akü kullanılmamıştır. Benzetim için hazırlanan tüm seçeneklerde fotovoltaik panel sayısı, ebatları, modeli ve çeviriciler sabit veri olarak tutulurken; konum, yüzey eğim açısı ve yön değişken veri olarak kabul edilmiştir. Gölgeleme, modül arka yüzeyinde oluşan sıcaklık ve panel yüzeyini kaplayan toz tabakasından doğan performans düşüşleri ise ihmal edilmiştir.

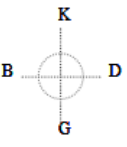






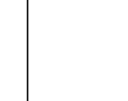







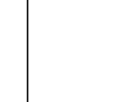

























4.2 Seçeneklerin Oluşturulması

Bölüm 4.1’de tanımlanan ofis binası cephesinde gölgeleme bileşeni olarak kullanılan fotovoltaik panellerin, binanın enerji yüküne olan etkisini değerlendirmek amacıyla oluşturulacak seçenekleri belirlemek üzere, öncelikle ‘sabit’ ve ‘değişken’ veriler tanımlanmıştır. Çizelge 4.7’de belirlenen sabit ve değişken veriler özetlenmiştir.

Çizelge 4.7 : Modellenen bina için belirlenen sabit ve değişken veriler.

| SABİT VERİLER | |
|-------------------------------------|---|
| Binanın İşlevi | Ofis binası |
| Boyutları | 24x24m kare formu |
| Kat Adedi | 10 |
| Kat Yüksekliği | 3m |
| Toplam inşaat alanı | 5.760 m ² |
| Plan Tipi | Açık ofis |
| Kullanıcı sayısı | 290 |
| Kullanım saatleri | 8.00 – 15.00 (hafta içi günleri) |
| HVAC sistem | Isıtma ve soğutma - klima sistemi Havalandırma – doğal |
| HVAC sistem çalışma periyodu | 22 °C – 26 °C |
| PV sistem bileşenleri | Polikristal silisyum hücreler %16 verim / 260 Wp güç 130 adet panel 10 adet çevirici |
| DEĞİŞKEN VERİLER | |
| Binanın Konumu | İzmir / İstanbul /Ankara / Van/ Erzurum |
| Cephe Yönü | Batı / Doğu / Güney / Kuzey |
| Fotovoltaik Panel Eğim Açısı | 0° / 30° |

Bölüm 3.6’da açıklanan ‘fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen faktörler’den, gölgelenme, panel tipi, bakım ve temizlik ile modül arkasında oluşan sıcaklık parametreleri sabit veri olarak kabul edilmiştir. Konum, eğim açısı ve yönlenme ise değişken veriler olarak kabul edilmiş ve bu değişkenlere göre oluşturulan 45 seçenek Şekil 4.8’de verilmiştir.

| Yönlenme | | Fotovoltaik Panel Eğim Açısı | | | | | | | | |
|---|-------|--|--|--|---|--|--|--|--|--|
|  | | 0° | 30° | 0° | 30° | 0° | 30° | 0° | 30° | - |
| | Konum | İstanbul |  |  |  |  |  |  |  |  |
| İzmir | |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| Ankara | |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| Erzurum | |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| Van | |  |  |  |  |  |  |  |  | |

Şekil 4.8 : Benzetim için oluşturulan seçenekler.

Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılmak üzere seçenekler için bir kodlama sistemi oluşturulmuştur. Bu kodlama sistemine göre;

- Konum değişkeni için tercih edilen illerden İstanbul '34', İzmir '35', Ankara '06', Van '65' ve Erzurum '25' rakamları ile,
- Yönler kuzey 'K', güney 'G', doğu 'D', batı 'B' harfleri ile,
- Yüzey eğim açısı ise '0°' ve '30°' açıları ile tanımlanmıştır.

Çizelge 4.8 : Oluşturulan seçeneklerin kodları.

| Seçenek No. | Seçenek Kodu | Açıklama |
|-------------|--------------|--|
| S1 | 35 / B / 0° | İzmir ili – batı yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S2 | 35 / B / 30° | İzmir ili – batı yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S3 | 35 / D / 0° | İzmir ili – doğu yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S4 | 35 / D / 30° | İzmir ili – doğu yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S5 | 35 / G / 0° | İzmir ili – güney yönü – 0 derece panel eğim açısı |

| | | |
|-----|--------------------------|--|
| S6 | 35 / G / 30 ⁰ | İzmir ili – güney yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S7 | 35 / K / 0 ⁰ | İzmir ili – kuzey yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S8 | 35 / K / 30 ⁰ | İzmir ili – kuzey yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S9 | 35 / - / - | İzmir ili – yönlenme ve gölgeleme bileşeni (PV) yok |
| S10 | 34 / B / 0 ⁰ | İstanbul ili – batı yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S11 | 34 / B / 30 ⁰ | İstanbul ili – batı yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S12 | 34 / D / 0 ⁰ | İstanbul ili – doğu yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S13 | 34 / D / 30 ⁰ | İstanbul ili – doğu yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S14 | 34 / G / 0 ⁰ | İstanbul ili – güney yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S15 | 34 / G / 30 ⁰ | İstanbul ili – güney yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S16 | 34 / K / 0 ⁰ | İstanbul ili – kuzey yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S17 | 34 / K / 30 ⁰ | İstanbul ili – kuzey yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S18 | 34 / - / - | İstanbul ili – yönlenme ve gölgeleme bileşeni (PV) yok |
| S19 | 06 / B / 0 ⁰ | Ankara ili – batı yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S20 | 06 / B / 30 ⁰ | Ankara ili – batı yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S21 | 06 / D / 0 ⁰ | Ankara ili – doğu yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S22 | 06 / D / 30 ⁰ | Ankara ili – doğu yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S23 | 06 / G / 0 ⁰ | Ankara ili – güney yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S24 | 06 / G / 30 ⁰ | Ankara ili – güney yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S25 | 06 / K / 0 ⁰ | Ankara ili – kuzey yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S26 | 06 / K / 30 ⁰ | Ankara ili – kuzey yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S27 | 06 / - / - | Ankara ili – yönlenme ve gölgeleme bileşeni (PV) yok |
| S28 | 65 / B / 0 ⁰ | Van ili – batı yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S29 | 65 / B / 30 ⁰ | Van ili – batı yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S30 | 65 / D / 0 ⁰ | Van ili – doğu yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S31 | 65 / D / 30 ⁰ | Van ili – doğu yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S32 | 65 / G / 0 ⁰ | Van ili – güney yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S33 | 65 / G / 30 ⁰ | Van ili – güney yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S34 | 65 / K / 0 ⁰ | Van ili – kuzey yönü – 0 derece panel eğim açısı |

| | | |
|-----|--------------------------|---|
| S35 | 65 / K / 30 ⁰ | Van ili – kuzey yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S36 | 65 / - / - | Van ili – yönlenme ve gölgeleme bileşeni (PV) yok |
| S37 | 25 / B / 0 ⁰ | Erzurum ili – batı yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S38 | 25 / B / 30 ⁰ | Erzurum ili – batı yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S39 | 25 / D / 0 ⁰ | Erzurum ili – doğu yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S40 | 25 / D / 30 ⁰ | Erzurum ili – doğu yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S41 | 25 / G / 0 ⁰ | Erzurum ili – güney yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S42 | 25 / G / 30 ⁰ | Erzurum ili – güney yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S43 | 25 / K / 0 ⁰ | Erzurum ili – kuzey yönü – 0 derece panel eğim açısı |
| S44 | 25 / K / 30 ⁰ | Erzurum ili – kuzey yönü – 30 derece panel eğim açısı |
| S45 | 25 / - / - | Erzurum ili – yönlenme ve gölgeleme bileşeni (PV) yok |

4.3 Çalışmada Kullanılan Benzetim Programlarının Tanıtılması

Çalışma kapsamında, farklı şehirlerin iklim verileri için Meteonorm programından faydalanılmıştır. Modellenen binanın enerji (ısıtma ve soğutma) yükünün hesaplanabilmesi için Autodesk Ecotect Analysis programı kullanılmıştır. Fotovoltaiklerden elde edilecek elektrik enerjisini hesaplamak için ise Pvsol programı kullanılmıştır.

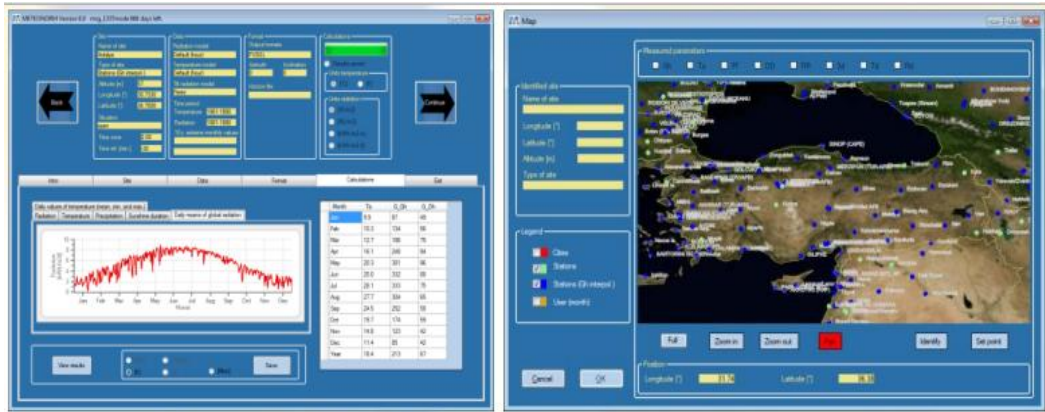
4.3.1 Meteonorm

İklim, simülasyon çalışmalarında en önemli etkenlerden birisidir. Binanın enerji performansının hesaplanabilmesi için binanın konumlandırılacağı bölgenin iklim verilerine ihtiyaç vardır. Bu amaca yönelik kullanılan birçok meteorolojik veri tabanı kaynağı mevcuttur. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları TMY2 (Typical Meteorological Year 2), IWEC (International Weather for Energy Calculations), WeatherBank ve Meteonorm olarak sayılabilir [79].

Bu çalışmada, simülasyonu yapılacak olan binanın enerji performansını hesaplamak amacıyla kullanılan Ecotect programı içindeki meteorolojik istasyonlar çalışma için gereken şehirleri kapsamadığı için farklı bir programdan Ecotect'e iklim veri transferine ihtiyaç duyulmuştur. Ecotect programı iklim verisi olarak 'wea' uzantılı dosya üretebilmektedir. Aynı zamanda EnergyPlus programının ürettiği 'epw'

uzantılı dosyaları da 'wea' uzantılı dosyalara çevirip kullanabilmektedir. Ancak EnergyPlus programının istasyon noktaları da çalışmada gereken şehirleri içermemektedir. Bu nedenle Türkiye'nin farklı şehirlerine ait meteorolojik verileri almak için Meteororm programı tercih edilmiştir.

Meteororm dünya üzerinde toplamda 8.325 meteorolojik istasyona ait saatlik değerlere ulaşılabilen bir iklim verileri kaynağıdır. Ayrıca 35 farklı formatta veri kaydedilmesine olanak sağlamaktadır [80]. Bu sayede çalışmada kullanılan şehirlerin iklim verileri Meteororm programı ile 'epw' uzantısına çevrilmiş ve 'epw' uzantılı dosyalar da Ecotect programı ile 'wea' dosyalarına dönüştürülerek kullanılmıştır. Şekil 4.9'da Meteororm arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 4.9 : Meteororm arayüzü [81].

Meteororm programı kullanılarak izlenen adımlar aşağıdaki gibidir;

- Konum belirlenmesi
- En yakın tarihli meteorolojik verilerin seçilmesi (1996-2005)
- Dosya uzantısı için 'epw' dosyası seçilmesi
- Sonuçların alınıp Ecotect'e veri aktarımı için kaydedilmesi

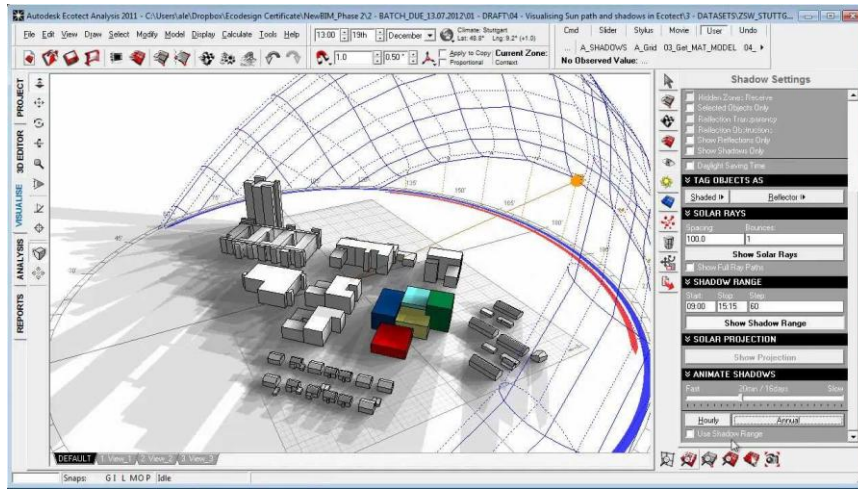
Sıralanan adımlar her bir seçenek için tekrarlanmıştır.

4.3.2 Autodesk Ecotect Analysis

Günümüzde bina enerji yükü analizi yapmak için yaygın olarak kullanılan programlardan bazıları EnergyPlus, Ecotect, TRNSYS, DesignBuilder, EnerWIN olarak sayılabilir. Tez çalışmasında, aşağıdaki nedenlerle bina enerji yükünü hesaplamak üzere Ecotect programı tercih edilmiştir;

- Autocad, Revit gibi birçok çizim programlarıyla uyumlu çalışabilmektedir.
- Çeşitli gölgeleme bileşeni tasarımına imkan sağlayabilmektedir.
- Cephe elemanlarının (pencereler, duvarlar, gölgeleme elemanları vs.) üzerine düşen güneş radyasyon miktarını hesaplayabilmektedir.
- Fotovoltaik paneller için en uygun yer ve konum hakkında fikir verebilmektedir.
- Mekanın gün ışığı potansiyel miktarını ve aydınlatma ihtiyacını hesaplayarak alternatif aydınlatma elemanları tasarımına olanak sağlayarak aydınlatma yükünü hesaplayabilmektedir.
- Yapı kabuğu elemanı tasarımına imkan vererek binanın ısıtma soğutma ve havalandırma yüklerini hesaplayabilmektedir.

Ecotect Autodesk firması tarafından, yeni ya da mevcut binaların enerji performansını hesaplamak amacıyla geliştirilmiş bir programdır [82]. Şekil 4.10'da Ecotect programının arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 4.10 : Autodesk Ecotect Analysis [81].

Programın kullanımında izlenen adımlar aşağıda sıralanmıştır;

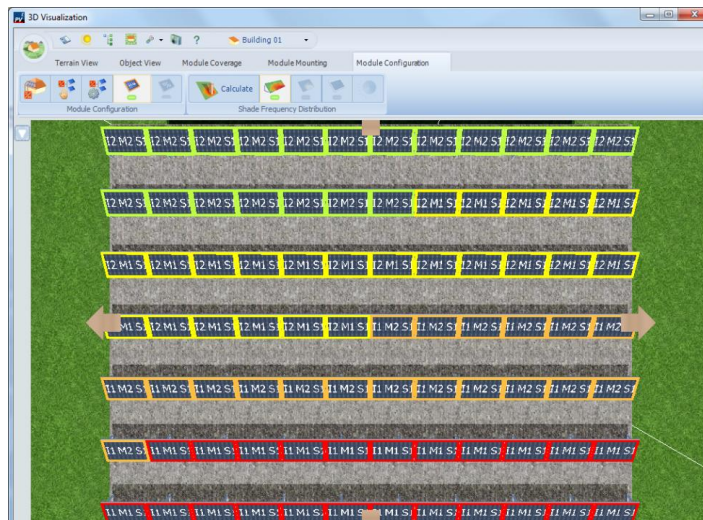
- Konumun belirlenmesi
- Bina yönünün belirlenmesi
- Meteonorm yardımıyla elde edilen iklim verilerinin Ecotect'e yüklenmesi
- Katı modelin oluşturulması

- Kullanılan yapı elemanlarının katmanlaşma modellerinin oluşturulması ve malzeme özellikleri girilerek U değerlerinin hesaplanması
- Ofis binasına ait çalışma gün ve saatlerini gösteren yıllık çalışma takviminin oluşturulması
- Kullanıcılara ait özelliklerin veri girişlerinin yapılması
- HVAC sisteme ait veri girişlerinin yapılması
- Benzetimin yapılması ve enerji yüklerine (ısıtma ve soğutma yüklerine) ait sonuçların alınması

Sıralanan adımlar her bir seçenek için tekrarlanmıştır.

4.3.3 Pvsol

Benzetimi yapılacak olan binanın iklim değerleri ve enerji yükleri belirlendikten sonra son adım olarak gölgeleme bileşeni üzerine yerleştirilen fotovoltaik panellerden elde edilecek enerji miktarı hesaplanacaktır. Fotovoltaik panellerin performansını analiz etmek üzere geliştirilmiş Pvsyst, Pvsol ve TRNSYS gibi yazılımlar mevcuttur. Bu çalışmada, diğer programlara göre daha anlaşılır bir arayüze sahip olduğu için Pvsol programı tercih edilmiştir [83]. Çalışma kapsamında programa binanın konumu, fotovoltaik sistem çeşidi(şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız vs.), panellerin eğim açısı, kapladığı alan gibi birçok veri girilerek sistemden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Şekil 4.11’de Pvsol programının arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 4.11 : Pvsol.

Programın kullanımında izlenen adımlar aşağıda sıralanmıştır;

- Konum belirlenmesi
- İklim verisi girişi
- Fotovoltaik sistem çeşidinin seçilmesi
- Panellere ait teknik özelliklerin belirlenmesi
- Çeviricilere ait teknik özelliklerin belirlenmesi
- Benzetimin yapılması ve sistemden elde edilen enerjinin belirlenmesi

Sıralanan adımlar her bir seçenek için tekrarlanmıştır.

4.4 Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

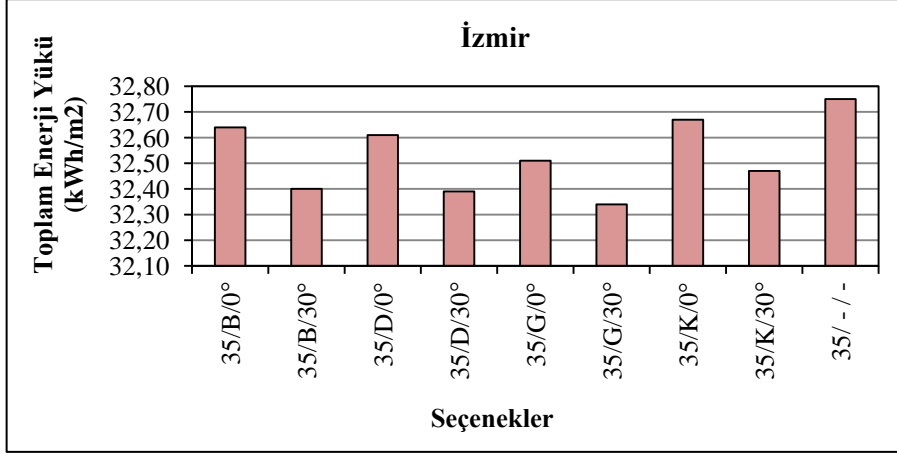
Bu bölümde, oluşturulmuş seçenekler için Meteonorm, Ecotect ve Pvsol programları kullanılarak yapılan benzetimlerden elde edilen sonuçlar, ısıtma-soğutma yüklerindeki değişimler, fotovoltaik sistem performansındaki değişimler ve fotovoltaik sistemin ısıtma-soğutma enerjisi yüklerine etkisi açılarından değerlendirilmektedir.

4.4.1 Seçeneklerin ısıtma-soğutma enerjisi yüklerindeki değişimler açısından değerlendirilmesi

Bu bölümde binanın konumuna, cephe yönüne ve panel eğim açısına bağlı olarak oluşturulan seçenekler için benzetimler yoluyla belirlenmiş ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri değerlendirilmektedir.

TSE 825'e göre 2.derece gün bölgesinde bulunan İzmir ili için elde edilen toplam enerji yükü Şekil 4.12'de, ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri ise Çizelge 4.9'da verilmiştir.

- Gölgeleme bileşeni kullanımına göre değerlendirildiğinde; yapılan benzetim sonuçlarında İzmir ilinin soğutma yükü miktarının ısıtma yükünden yüksek çıktığı görülmektedir. Gölgeleme bileşeni kullanımı, yaz aylarındaki yüksek soğutma yükü miktarını düşürerek olumlu yönde etki etmiştir. Gölgeleme bileşeni kullanılan seçeneklerde kullanılmayan seçeneğe oranla **enerji yükünde** minimum % 0,24 ile maksimum %1,25 arasında **düşüş** görülmektedir.



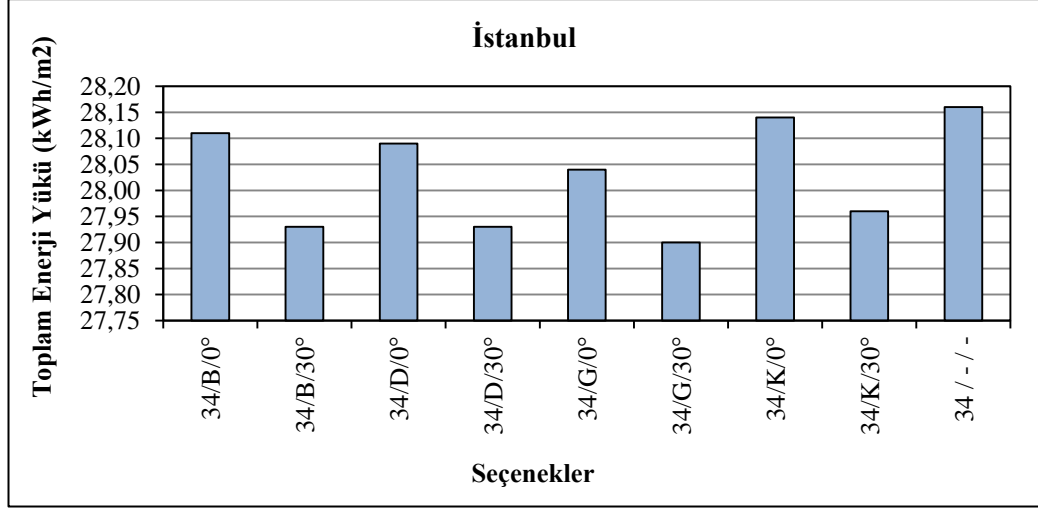
Şekil 4.12 : İzmir ili için elde edilen toplam enerji yükü.

Çizelge 4.9 : İzmir iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri.

| Seçenek No. | Seçenek Kodu | Yıllık Isıtma Enerjisi Yüğü (kWh/m2) | Yıllık Soğutma Enerjisi Yüğü (kWh/m2) | TOPLAM (kWh/m2) |
|-------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| S1 | 35 / B / 0 ⁰ | 8,49 | 24,13 | 32,64 |
| S2 | 35 / B / 30 ⁰ | 8,52 | 23,88 | 32,40 |
| S3 | 35 / D / 0 ⁰ | 8,49 | 24,11 | 32,61 |
| S4 | 35 / D / 30 ⁰ | 8,52 | 23,87 | 32,39 |
| S5 | 35 / G / 0 ⁰ | 8,49 | 24,02 | 32,51 |
| S6 | 35 / G / 30 ⁰ | 8,52 | 23,82 | 32,34 |
| S7 | 35 / K / 0 ⁰ | 8,49 | 24,17 | 32,67 |
| S8 | 35 / K / 30 ⁰ | 8,52 | 13,95 | 32,47 |
| S9 | 35 / - / - | 8,39 | 24,36 | 32,75 |

- Yön değişkenine göre değerlendirildiğinde; en verimli yönün güney olduğu görülmüştür ve bunu sırasıyla doğu, batı ve kuzey yönleri izlemektedir. Gölgeleme bileşeninin güney yönüne konumlandırıldığı durumda kuzey yönüne oranla enerji yüküne %1.02 daha faydalı olduğu görülmektedir.
- Gölgeleme bileşeni eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; tüm sonuçlar için 30⁰ eğim açısı 0⁰'ye oranla daha olumlu sonuçlar vermiştir.

TSE 825'e göre 2.derece gün bölgesinde bulunan İstanbul ili için elde edilen toplam enerji yükü Şekil 4.13'de, ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri ise Çizelge 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.13 : İstanbul ili için elde edilen toplam enerji yükü.

Çizelge 4.10 : İstanbul ili için elde edilen ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri.

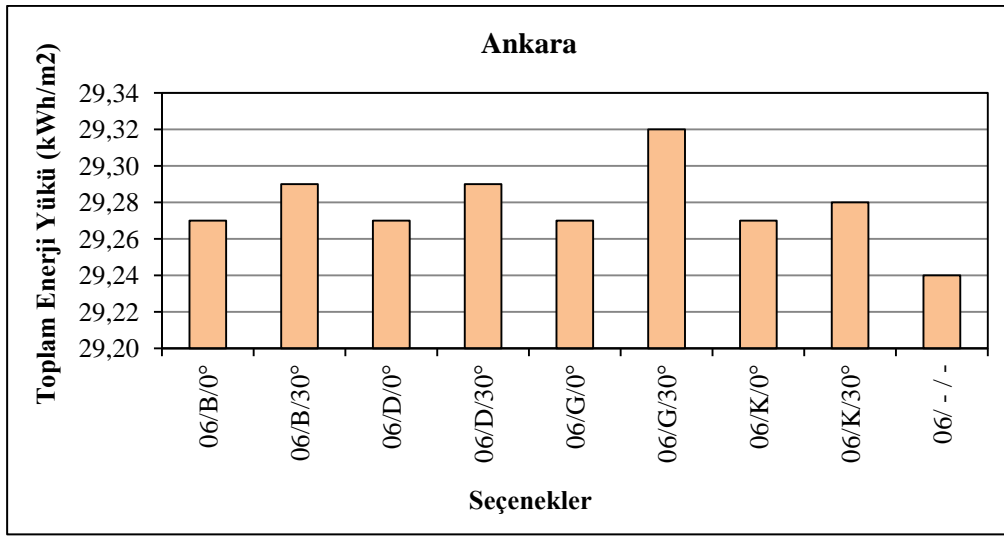
| Seçenek No. | Seçenek Kodu | Yıllık Isıtma Enerjisi Yüğü (kWh/m ²) | Yıllık Soğutma Enerjisi Yüğü (kWh/m ²) | TOPLAM (kWh/m ²) |
|-------------|--------------------------|---|--|------------------------------|
| S10 | 34 / B / 0 ⁰ | 14,79 | 13,31 | 28,11 |
| S11 | 34 / B / 30 ⁰ | 14,85 | 13,08 | 27,93 |
| S12 | 34 / D / 0 ⁰ | 14,80 | 13,28 | 28,09 |
| S13 | 34 / D / 30 ⁰ | 14,85 | 13,08 | 27,93 |
| S14 | 34 / G / 0 ⁰ | 14,79 | 13,25 | 28,04 |
| S15 | 34 / G / 30 ⁰ | 14,85 | 13,04 | 27,90 |
| S16 | 34 / K / 0 ⁰ | 14,80 | 13,34 | 28,14 |
| S17 | 34 / K / 30 ⁰ | 14,85 | 13,11 | 27,96 |
| S18 | 34 / - / - | 14,71 | 13,45 | 28,16 |

- Gölgeleme bileşeni kullanımına göre değerlendirildiğinde; yapılan benzetim sonuçlarında İstanbul ilinin ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. Gölgeleme bileşeni kullanılan seçeneklerde kullanılmayan seçeneğe oranla toplam **enerji yükünde** minimum % 0,07 ile maksimum %0,92 arasında **düşüş** görülmektedir.
- Yön değişkenine göre değerlendirildiğinde; en verimli yönün İzmir ilinde olduğu gibi yine güney yönü olduğu görülmüştür ve bunu sırasıyla doğu, batı ve kuzey yönleri izlemektedir. Gölgeleme bileşeninin güney yönüne konumlandırıldığı

durumda kuzey yönüne oranla toplam enerji yüküne %0.86 daha faydalı olduğu görülmektedir.

- Gölgeleme bileşeni eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; yine İzmir ilinde olduğu gibi tüm sonuçlar için 30° eğim açısı 0°'ye oranla daha olumlu sonuçlar vermiştir.

TSE 825'e göre 2.derece gün bölgesinde bulunan Ankara ili için elde edilen toplam enerji yükü Şekil 4.14'de, ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri ise Çizelge 4.11'de verilmiştir.



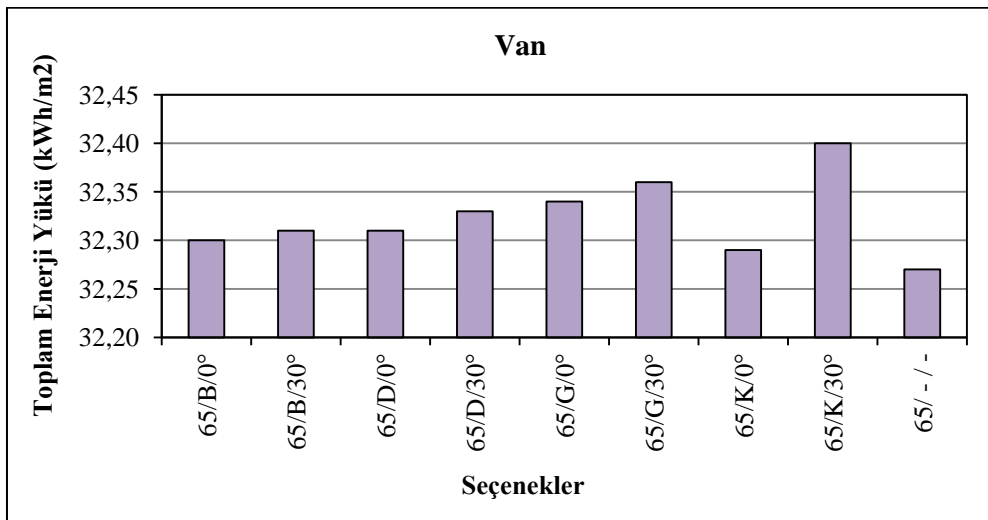
Şekil 4.14 : Ankara ili için elde edilen toplam enerji yükü.

Çizelge 4.11 : Ankara iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri.

| Seçenek No. | Seçenek Kodu | Yıllık Isıtma Enerjisi Yükü (kWh/m2) | Yıllık Soğutma Enerjisi Yükü (kWh/m2) | TOPLAM (kWh/m2) |
|-------------|--------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| S19 | 06 / B / 0° | 19,38 | 9,89 | 29,27 |
| S20 | 06 / B / 30° | 19,73 | 9,56 | 29,29 |
| S21 | 06 / D / 0° | 19,38 | 9,89 | 29,27 |
| S22 | 06 / D / 30° | 19,73 | 9,56 | 29,29 |
| S23 | 06 / G / 0° | 19,38 | 9,89 | 29,27 |
| S24 | 06 / G / 30° | 19,48 | 9,84 | 29,32 |
| S25 | 06 / K / 0° | 19,38 | 9,89 | 29,27 |
| S26 | 06 / K / 30° | 19,43 | 9,84 | 29,28 |
| S27 | 06 / - / - | 19,22 | 10,02 | 29,24 |

- Gölgeleme bileşeni kullanımına göre değerlendirildiğinde; yapılan benzetim sonuçlarında Ankara ilinin ısıtma yükü miktarı soğutma yükünden yüksek çıkmıştır. Gölgeleme bileşeni kullanımı yaz aylarında soğutma yüküne bir miktar katkı sağlasa da, kış aylarında iç mekana alınan güneşi engellediği için ısıtma yükünde artışa neden olmuştur. Bu nedenle Ankara ilinde İzmir ve İstanbul illerinin aksine gölgeleme bileşeni kullanılan seçeneklerde kullanılmayan seçeneğe oranla **enerji yükünde** minimum % 0,10 ile maksimum %0,27 arasında **artış** görülmektedir.
- Yön değişkenine göre değerlendirildiğinde; en düşük artışa neden olan yönün kuzey yönü olduğu görülmüştür. Doğu ve batı yönleri için aynı sonuçlar elde edilirken en çok güneş alan güney yönünde kış güneşi engellendiği için, enerji yükünde en büyük artışa neden olan yön güney olmuştur. Gölgeleme bileşeninin güney yönüne konumlandırıldığı durumda, kuzey yönüne oranla enerji yüküne %0.17 daha zararlı olduğu görülmektedir.
- Gölgeleme bileşeni eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; daha eğik açıdaki gölgeleme bileşeni kış güneşine daha çok engel olarak ısıtma yükünde artışa neden olduğu için, yine İzmir ve İstanbul illerinin aksine tüm sonuçlar için 0^0 eğim açısı 30^0 'ye oranla daha olumlu sonuçlar vermiştir.

TSE 825'e göre 2.derece gün bölgesinde bulunan Van ili için elde edilen toplam enerji yükü Şekil 4.15'de, ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.



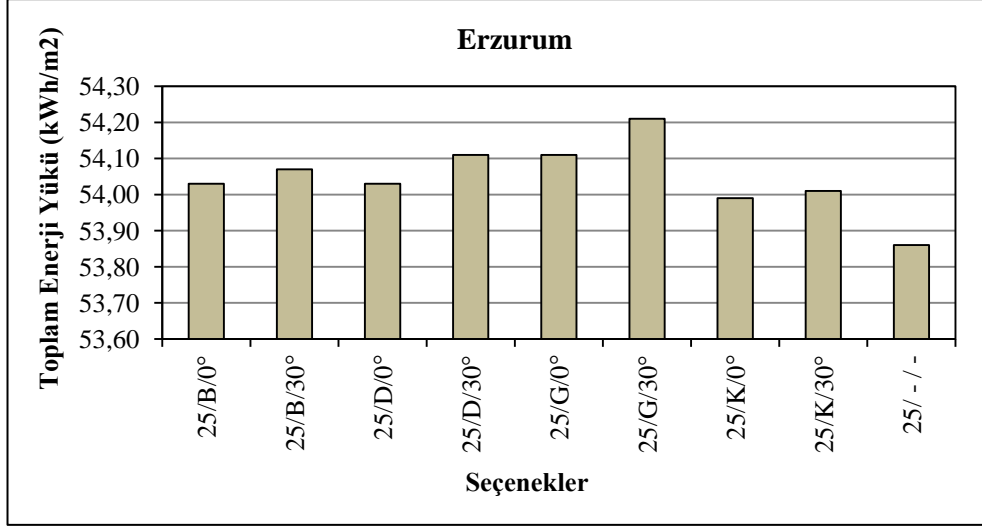
Şekil 4.15 : Van ili için elde edilen toplam enerji yükü

Çizelge 4.12 : Van iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri.

| Seçenek No. | Seçenek Kodu | Yıllık Isıtma Enerjisi Yüğü (kWh/m ²) | Yıllık Soğutma Enerjisi Yüğü (kWh/m ²) | TOPLAM (kWh/m ²) |
|-------------|--------------------------|---|--|------------------------------|
| S28 | 65 / B / 0 ⁰ | 25,16 | 7,14 | 32,30 |
| S29 | 65 / B / 30 ⁰ | 25,22 | 7,10 | 32,31 |
| S30 | 65 / D / 0 ⁰ | 25,17 | 7,14 | 32,31 |
| S31 | 65 / D / 30 ⁰ | 25,21 | 6,95 | 32,33 |
| S32 | 65 / G / 0 ⁰ | 25,22 | 7,12 | 32,34 |
| S33 | 65 / G / 30 ⁰ | 25,24 | 7,12 | 32,36 |
| S34 | 65 / K / 0 ⁰ | 25,15 | 7,14 | 32,29 |
| S35 | 65 / K / 30 ⁰ | 25,15 | 7,14 | 32,29 |
| S36 | 65 / - / - | 24,94 | 7,33 | 32,27 |

- Gölgeleme bileşeni kullanımına göre değerlendirildiğinde; yapılan benzetim sonuçlarında Van ilinin ısıtma yükü miktarı Ankara'daki gibi soğutma yükünden yüksek çıkmıştır. Bu nedenle Van ilinde gölgeleme bileşeni kullanılan seçeneklerde kullanılmayan seçeneğe oranla **enerji yükünde** minimum % 0,06 ile maksimum %0,27 arasında **artış** görülmektedir.
- Yön değişkenine göre değerlendirildiğinde; Ankara ili ile aynı sebeplerden en düşük artışa neden olan yönün kuzey yönü olduğu görülmüştür ve bunu sırasıyla batı, doğu ve güney yönleri takip etmektedir. Gölgeleme bileşeninin güney yönüne konumlandırıldığı durumda kuzey yönüne oranla enerji yüküne %0.21 daha zararlı olduğu görülmektedir.
- Gölgeleme bileşeni eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; daha eğik açıdaki gölgeleme bileşeni kış güneşine daha çok engel olarak ısıtma yükünde artışa neden olduğu için, Ankara ilinde olduğu gibi tüm sonuçlar için 0⁰ eğim açısı 30⁰'ye oranla daha olumlu sonuçlar vermiştir.

TSE 825'e göre 2.derece gün bölgesinde bulunan Erzurum ili için elde edilen toplam enerji yükü Şekil 4.16'de, ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri ise Çizelge 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.16 : Erzurum ili için elde edilen toplam enerji yükü.

Çizelge 4.13 : Erzurum iline ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri.

| Seçenek No. | Seçenek Kodu | Yıllık Isıtma Enerjisi Yüğü (kWh/m2) | Yıllık Soğutma Enerjisi Yüğü (kWh/m2) | TOPLAM (kWh/m2) |
|-------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| S37 | 25 / B / 0 ⁰ | 53,48 | 0,55 | 54,03 |
| S38 | 25 / B / 30 ⁰ | 53,50 | 0,57 | 54,07 |
| S39 | 25 / D / 0 ⁰ | 53,48 | 0,55 | 54,03 |
| S40 | 25 / D / 30 ⁰ | 53,55 | 0,57 | 54,11 |
| S41 | 25 / G / 0 ⁰ | 53,56 | 0,55 | 54,11 |
| S42 | 25 / G / 30 ⁰ | 53,64 | 0,57 | 54,21 |
| S43 | 25 / K / 0 ⁰ | 53,44 | 0,55 | 53,99 |
| S44 | 25 / K / 30 ⁰ | 53,46 | 0,55 | 54,01 |
| S45 | 25 / - / - | 53,26 | 0,59 | 53,86 |

- Gölgeleme bileşeni kullanımına göre değerlendirildiğinde; yapılan benzetim sonuçlarında Erzurum ilinin diğer illere oranla ısıtma yükü miktarı soğutma yükünden çok daha yüksek çıkmıştır. Bu nedenle Erzurum ilinde gölgeleme bileşeni kullanılan seçeneklerde, kullanılmayan seçeneğe oranla **enerji yükünde** minimum % 0,24 ile maksimum %0,64 arasında **artış** görülmektedir.
- Yön değişkenine göre değerlendirildiğinde; Ankara ve Van illerindeki gibi en düşük artışa neden olan yönün kuzey yönü olduğu görülmüştür ve bunu sırasıyla batı, doğu ve güney yönleri takip etmektedir. Gölgeleme bileşeninin güney

yönüne konumlandırıldığı durumda kuzey yönüne oranla enerji yüküne %0.40 daha zararlı olduğu görülmektedir.

- Gölgeleme bileşeni eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; daha eğik açıdaki gölgeleme bileşeni kış güneşine daha çok engel olarak ısıtma yükünde artışa neden olduğu için, Ankara ve Van ilinde olduğu gibi tüm sonuçlar için 0^0 eğim açısı 30^0 'ye oranla daha olumlu sonuçlar vermiştir.

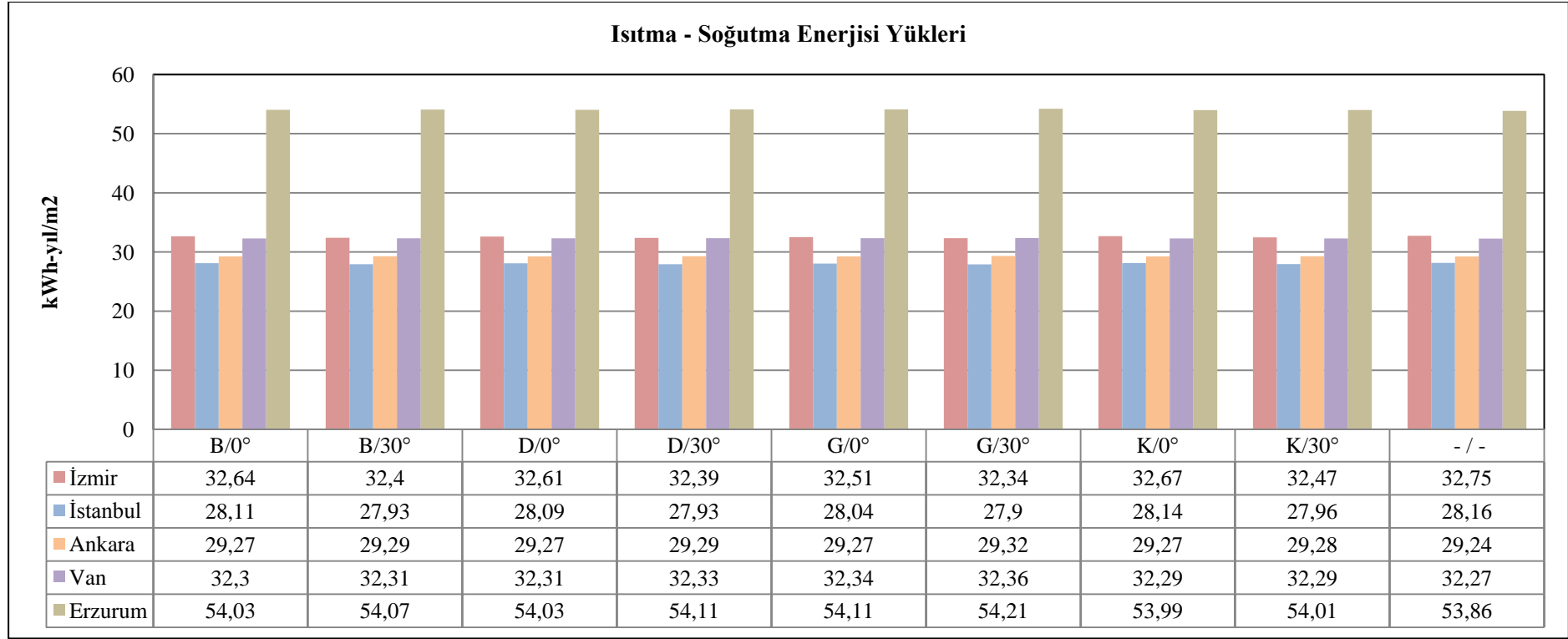
Benzetimi yapılan ofis binasında tüm seçenekler için hesaplanan ihtiyaç duyulan enerji yükü miktarları (ısıtma ve soğutma yükleri toplamı) Şekil 4.17'de verilmektedir. Elde edilen sonuçlar konum değişkenine göre değerlendirildiğinde; gölgeleme bileşeni kullanılmayan seçeneklerden elde edilen sonuçlara göre en yüksek enerji ihtiyacının Erzurum ili için m^2 başına 53,86 kWh-yıl olduğu görülmektedir. Erzurum ilini sırasıyla 32,75 kWh-yıl ile İzmir, 32,27 kWh-yıl ile Van, 29,24 kWh-yıl ile Ankara ve son olarak 28,16 kWh-yıl ile İstanbul ili takip etmektedir. En yüksek değer hesaplandığı Erzurum ili en düşük değere sahip İstanbul iline oranla % 47.71 daha fazla enerji ihtiyacı duymaktadır.

4.4.2 Seçeneklerin fotovoltaik sistem performansındaki değişimler açısından değerlendirilmesi

Bu bölümde bina konumuna, cephe yönüne ve panel eğim açısına bağlı olarak oluşturulan seçenekler için benzetim yoluyla belirlenmiş panellerden elde edilen enerji miktarları değerlendirilmektedir.

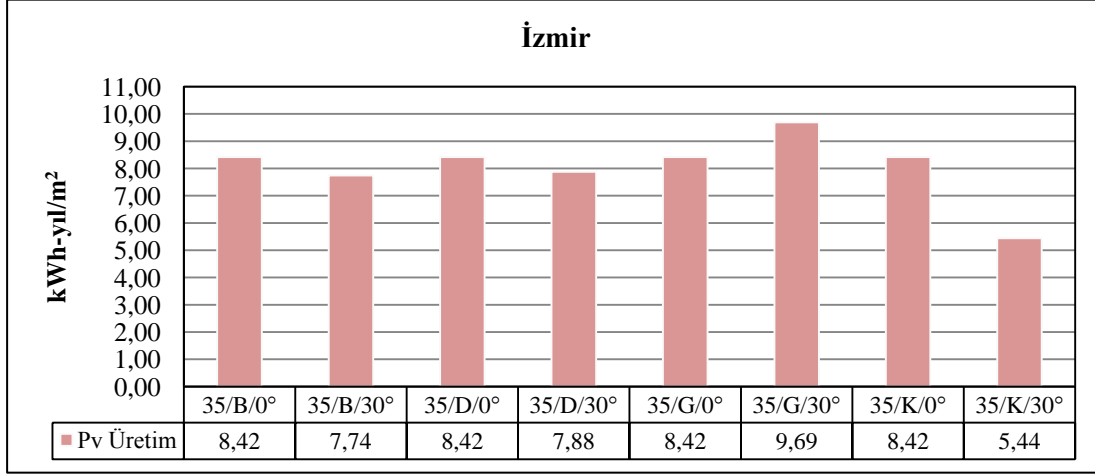
İzmir ili için elde edilen sonuçlar Şekil 4.18'de verilen grafik ile özetlenmiştir. Sonuçlar;

- Cephe yönü değişkenine göre değerlendirildiğinde; en yüksek performansın güney yönünde sağlandığı ve bunu sırasıyla doğu, batı ve kuzey yönlerinin izlediği görülmektedir. En yüksek değer elde edildiği güney yönündeki seçenek ile en düşük değerdeki kuzey yönlü seçenek karşılaştırıldığında güney yönüne yerleştirilen panellerden kuzeye göre %43.85 oranında daha yüksek performans elde edildiği görülmüştür.



Şekil 4.17 : Tüm seçenekler için elde edilen enerji (ısıtma ve soğutma yükleri toplamı) yükleri.

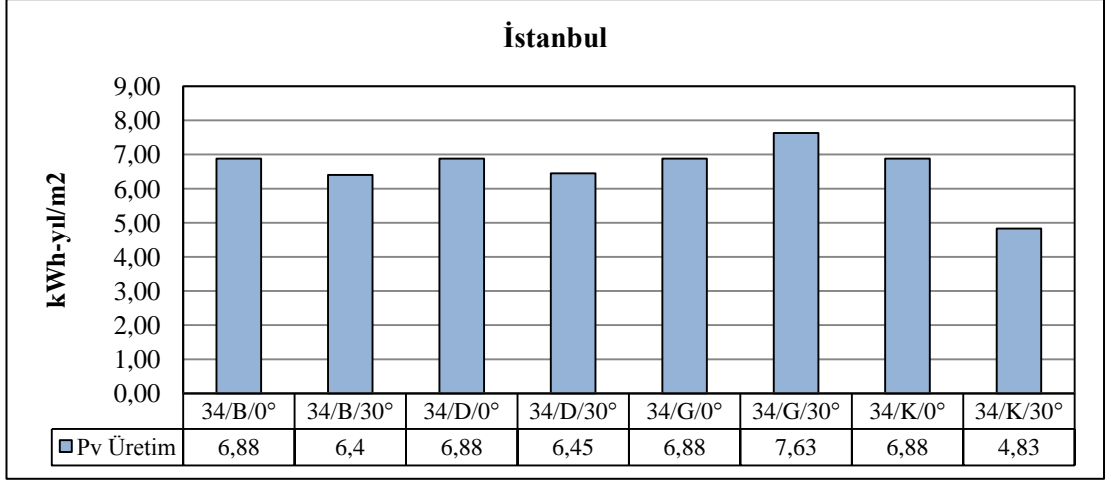
- Panel eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; güney yönü için 30^0 eğim açısı en yüksek değeri verirken, yapılan hesaplarda binanın fotovoltaik paneller üzerine düşürdüğü gölge ihmal edildiğinden 0^0 tüm yönlerde aynı değeri vermiştir ve bu nedenle kuzey, güney ve batı yönleri için 0^0 eğim açısında 30^0 'ye göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. En yüksek değer elde edildiği güneye yönelmiş 30^0 eğim açısındaki seçenek için sistem performansında 0^0 'ye göre %13.10 daha yüksek enerji elde edilmiştir.



Şekil 4.18 : İzmir ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı.

İstanbul ili için elde edilen sonuçlar Şekil 4.19'da verilen grafik ile özetlenmiştir. Sonuçlar;

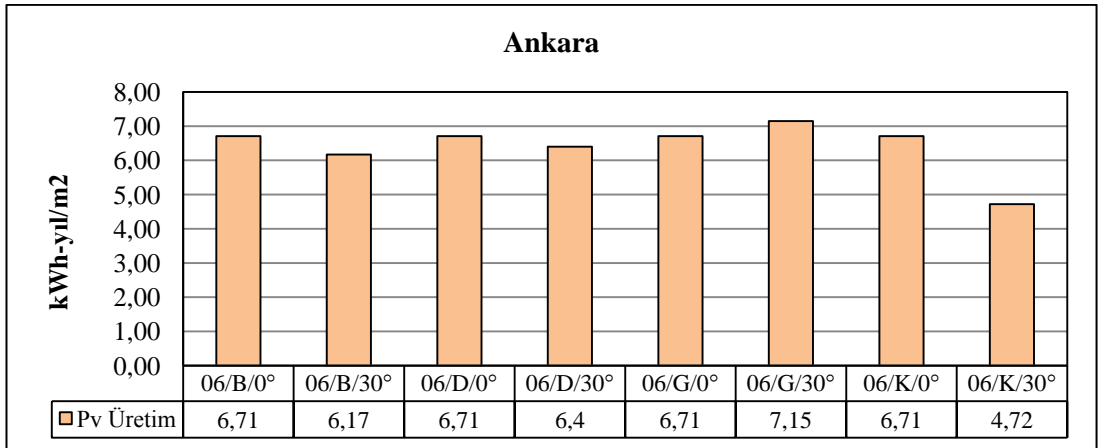
- Cephe yönü değişkenine göre değerlendirildiğinde; en yüksek performans sıralamasının İzmir ilinde olduğu gibi sırasıyla güney, doğu, batı ve kuzey yönleri olduğu görülmektedir. En yüksek değer elde edildiği güney yönündeki seçenek ile en düşük değerdeki kuzey yönlü seçenek karşılaştırıldığında güney yönüne yerleştirilen panellerden kuzeye göre %36.69 oranında daha yüksek performans elde edildiği görülmüştür.
- Panel eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; yine İzmir ili ile aynı sebeplerden dolayı, güney yönü için 30^0 eğim açısı en yüksek değeri verirken, kuzey, güney ve batı yönleri için 0^0 eğim açısında 30^0 'ye göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. En yüksek değer elde edildiği güneye yönelmiş 30^0 eğim açısındaki seçenek için sistem performansında 0^0 'ye göre %9.82 daha yüksek enerji elde edilmiştir.



Şekil 4.19 : İstanbul ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı.

Ankara ili için elde edilen sonuçlar Şekil 4.20’de verilen grafik ile özetlenmiştir. Sonuçlar;

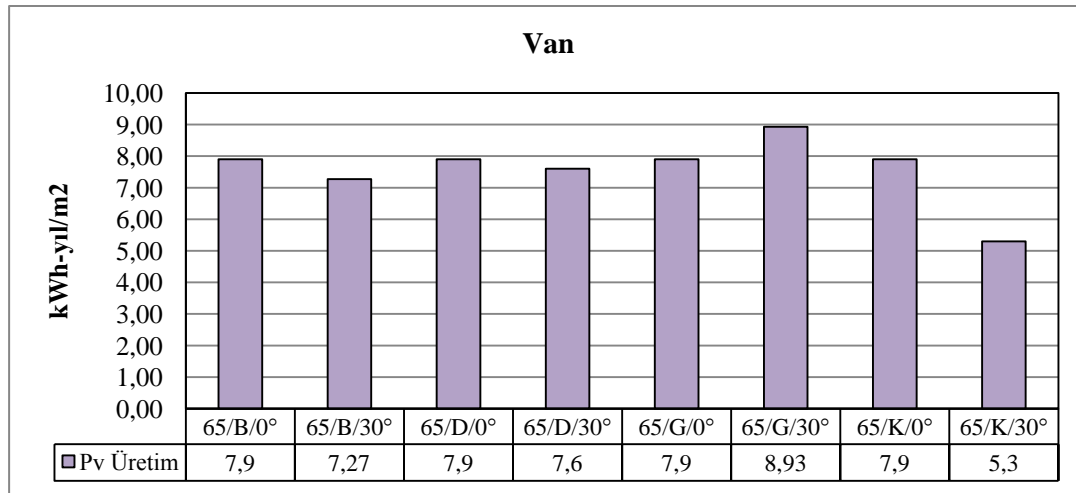
- Cephe yönü değişkenine göre değerlendirildiğinde; en yüksek performans sıralamasının İzmir ve İstanbul illerinde olduğu gibi sırasıyla güney, doğu, batı ve kuzey yönleri olduğu görülmektedir. En yüksek değer elde edildiği güney yönündeki seçenek ile en düşük değerdeki kuzey yönlü seçenek karşılaştırıldığında güney yönüne yerleştirilen panellerden kuzeye göre %33,98 oranında daha yüksek performans elde edildiği görülmüştür.
- Panel eğim açısına göre değerlendirildiğinde; İzmir ili ile aynı sebepler nedeniyle, güney yönü için 30° eğim açısı en yüksek değeri verirken, kuzey, güney ve batı yönleri için 0° eğim açısında 30°’ye göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. En yüksek değer elde edildiği güney yönü 30° eğim açısındaki seçenek için sistem performansında 0°’ye göre %6,15 daha yüksek enerji elde edilmiştir.



Şekil 4.20 : Ankara ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı.

Van ili için elde edilen sonuçlar Şekil 4.21’de verilen grafik ile özetlenmiştir. Sonuçlar;

- Cephe yönü değişkenine göre değerlendirildiğinde; en yüksek performans sıralamasının diğer illerde olduğu gibi sırasıyla güney, doğu, batı ve kuzey yönleri olduğu görülmektedir. En yüksek değerin elde edildiği güney yönündeki seçenek ile en düşük değerdeki kuzey yönlü seçenek karşılaştırıldığında güney yönüne yerleştirilen panellerden kuzeye göre %40,65 oranında daha yüksek performans elde edildiği görülmüştür.
- Panel eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; yine diğer illerde olduğu gibi güney yönü için 30⁰ eğim açısı en yüksek değeri verirken, kuzey, güney ve batı yönleri için 0⁰ eğim açısında 30⁰’ye göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. En yüksek değerin elde edildiği güneye yönelmiş 30⁰ eğim açısındaki seçenek için sistem performansında 0⁰’ye göre %11,53 daha yüksek enerji elde edilmiştir.

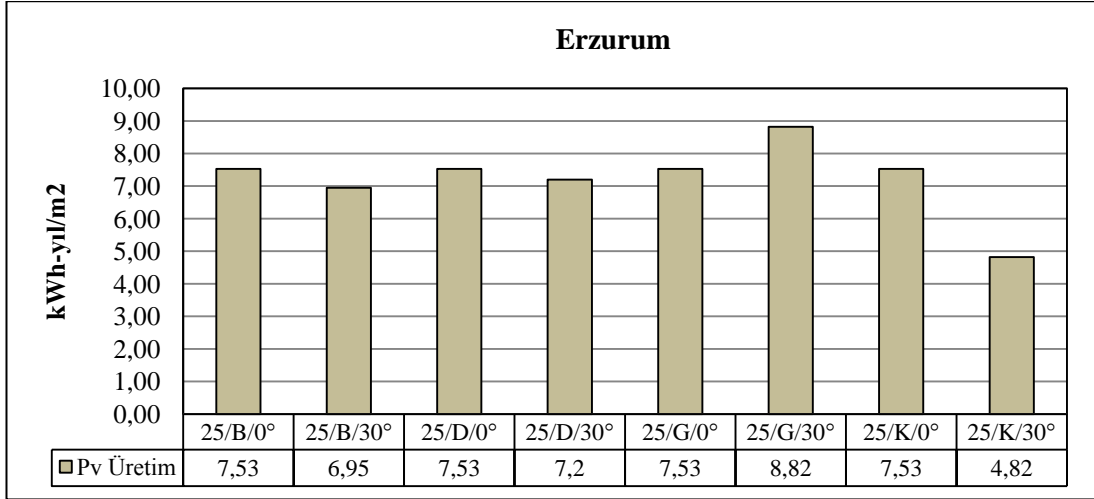


Şekil 4.21 : Van ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı.

Erzurum ili için elde edilen sonuçlar Şekil 4.22’de verilen grafik ile özetlenmiştir. Sonuçlar;

- Cephe yönü değişkenine göre değerlendirildiğinde; en yüksek performans sıralamasının diğer illerde olduğu gibi sırasıyla güney, doğu, batı ve kuzey yönleri olduğu görülmektedir. En yüksek değerin elde edildiği güney yönündeki seçenek ile en düşük değerdeki kuzey yönlü seçenek karşılaştırıldığında güney yönüne yerleştirilen panellerden kuzeye göre %45,35 oranında daha yüksek performans elde edildiği görülmüştür.

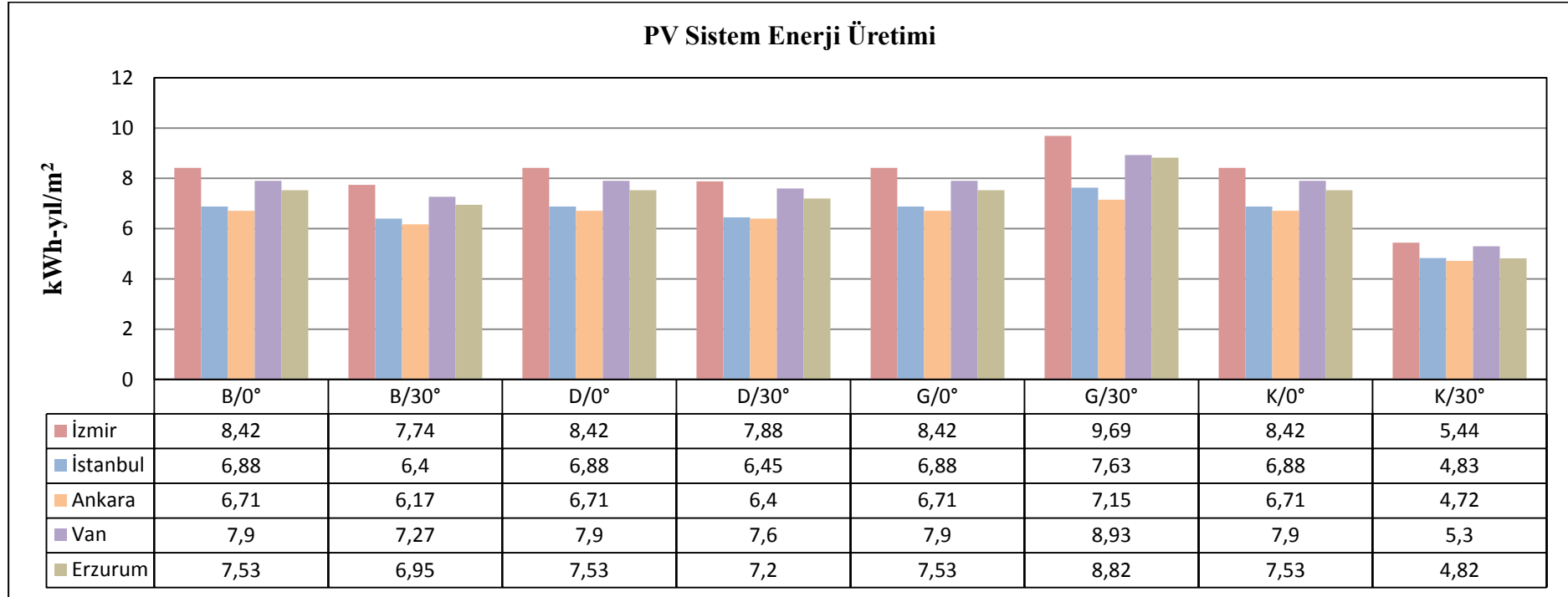
- Panel eğim açısına göre değerlendirildiğinde ise; yine diğer illerde olduğu gibi güney yönü için 30° eğim açısı en yüksek değeri verirken, kuzey, güney ve batı yönleri için 0° eğim açısında 30°'ye göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. En yüksek değer elde edildiği güneşe yönelmiş 30° eğim açısındaki seçenek için sistem performansında 0°'ye göre %14,62 daha yüksek enerji elde edilmiştir.



Şekil 4.22 : Erzurum ili için fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı.

Şekil 4.23’de verilen grafiğe göre; tüm seçenekler için hesaplanan üretim miktarında en yüksek değerlerin güney yönünde ve 30° eğim açısında elde edildiği görülmektedir. Sonuçlar konum değişkenine göre değerlendirildiğinde; en yüksek performans değerinin m² başına 9,69 kWh-yıl ile İzmir ilinde elde edildiği görülmektedir. İzmir ilini sırasıyla 8,93 kWh-yıl ile Van, 8,82 kWh-yıl ile Erzurum, 7,63 kWh-yıl ile İstanbul ve son olarak 7,13 kWh-yıl ile Ankara ilinin izlediği görülmektedir. GEPA’ya göre en yüksek güneş ışınım değerine sahip ilimiz Van iken, elde edilen sonuçlarda İzmir’de Van’a göre daha fazla enerji üretimi yapılabilmektedir. Bu durum sistemin konumlandırılacağı bölgenin güneş ışınım miktarı değeri kadar, diğer iklimsel özelliklerinin (dış hava sıcaklığı, hava nemi, rüzgar hızı ve yönü, yağış gibi) de fotovoltaik sistem performansı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Elde edilen tüm sonuçlarda panel eğim açısının 0° olduğu seçenekler için panelden elde edilen enerji miktarının eşit olmasının nedeni kullanılan benzetim programı PVsol ortamında panellerin düz bir arazide bulunduğu ve kendi üzerlerine gölge düşürmediği ve etraftaki herhangi bir cisimden de gölgelenmediğinin varsayılmasıdır.

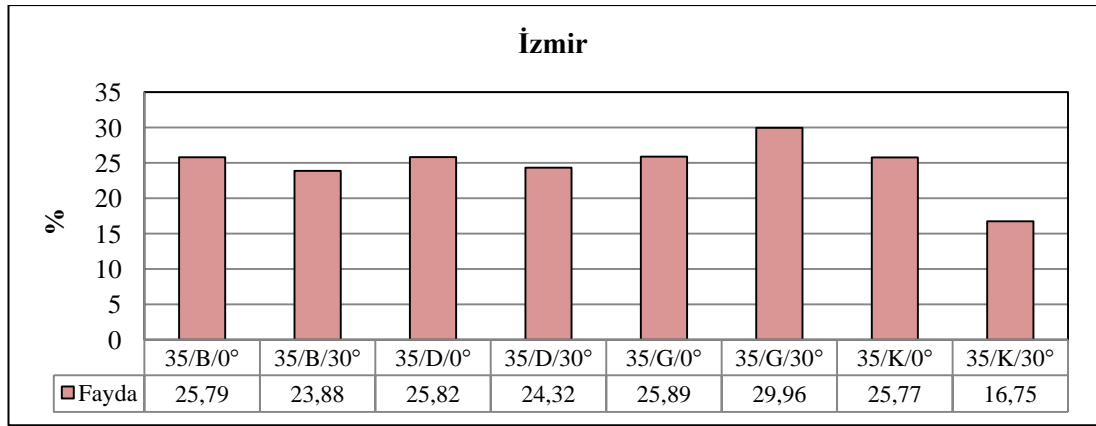


Şekil 4.23 : Tüm seçenekler için elde edilen fotovoltaik sistem enerji üretimi miktarları.

4.4.3 Seçeneklerin fotovoltaik sistemin ısıtma-soğutma enerjisi yüklerine etkisi açısından değerlendirilmesi

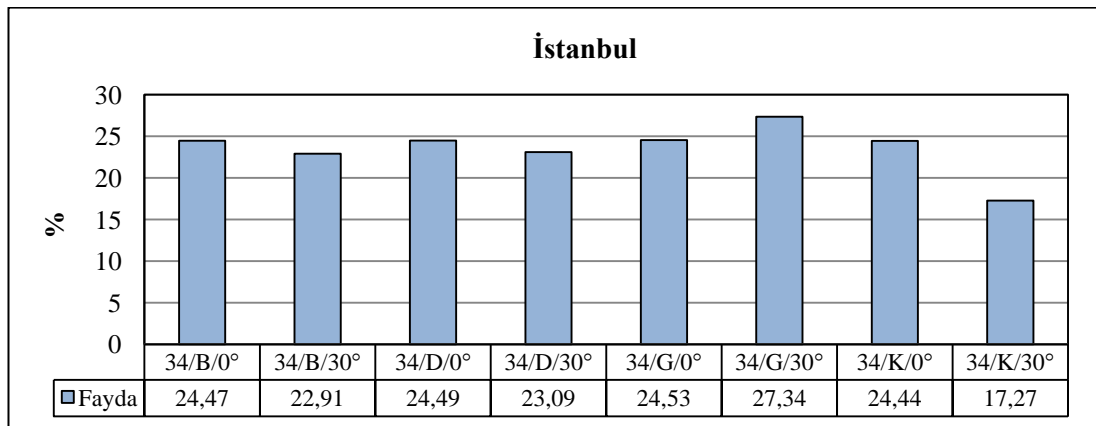
Bu bölümde; tüm seçenekler için Bölüm 4.4.1’de belirlenen enerji yükü ihtiyacı için Bölüm 4.4.2’de hesaplanan fotovoltaik sistem enerji üretimlerinin ne oranda fayda sağladığı değerlendirilmektedir.

Şekil 4.24’de verilen grafikte görüldüğü gibi İzmir ili için en faydalı seçenek %29,96 fayda oranı ile fotovoltaik panellerin güney yönüne yönlendiği ve 30⁰’lik eğim açısında olduğu durumdur. En düşük fayda oranı ise %16,75 ile kuzey yönü 30⁰’lik eğim açısı olan seçenekte görülmektedir.



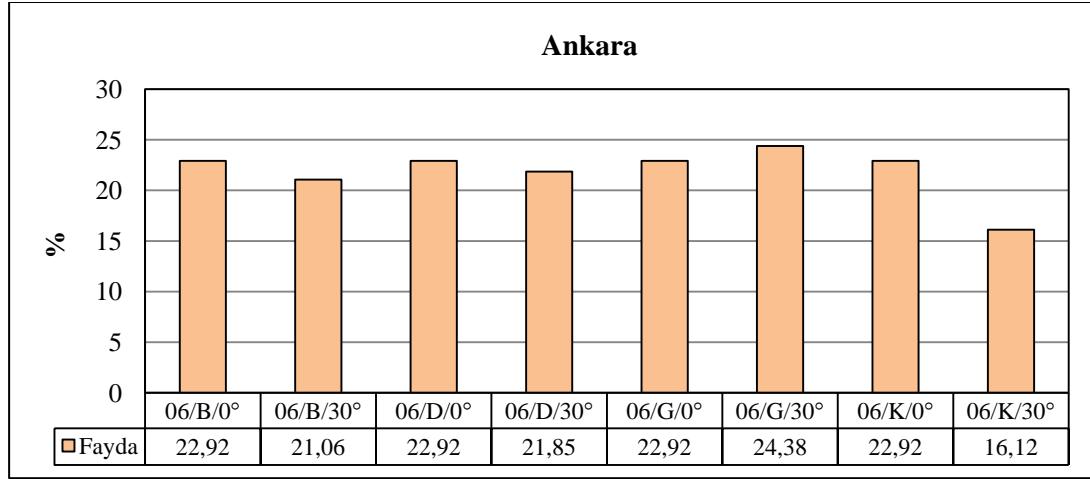
Şekil 4.24 : İzmir ili için hesaplanan fayda oranları.

İstanbul ili için %27,34 fayda oranı ile en yüksek performans, İzmir ilinde olduğu gibi güney yönünde ve 30⁰’lik eğim açısı ile yerleştirilmiş seçenek için sağlanırken; en düşük performans %17,27 fayda oranı ile kuzey yönünde ve 30⁰’lik eğim açısı ile yerleştirilmiş seçenek için elde edilmektedir. İstanbul ili fayda oranlarına ait değerler Şekil 4.25’de özetlenmiştir.



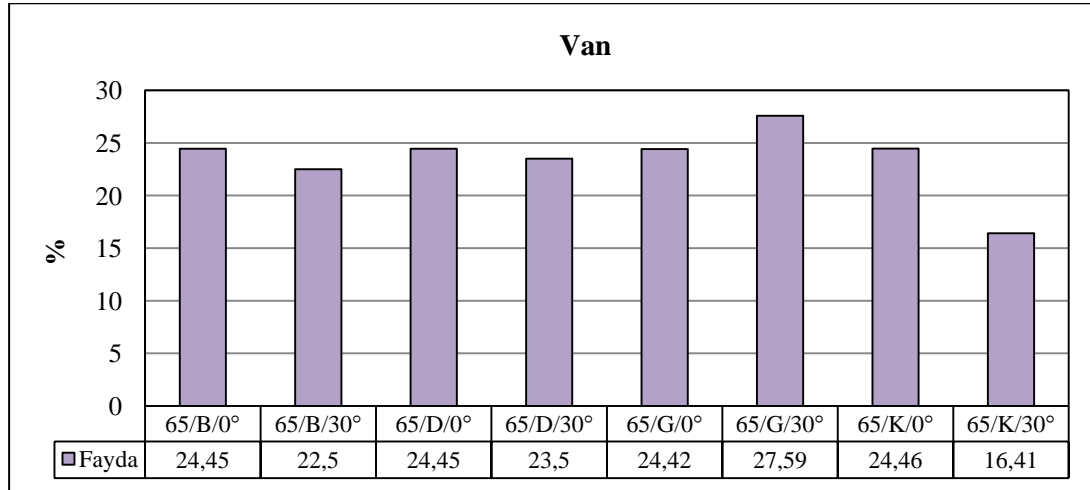
Şekil 4.25 : İstanbul ili için hesaplanan fayda oranları.

Ankara ili için %24,38 fayda oranı ile en yüksek performans, İzmir ve İstanbul'da olduğu gibi güney yönü ve 30⁰'lik eğim açısı için sağlanırken; en düşük performans %16,12 fayda oranı ile kuzey yönü ve 30⁰'lik eğim açısı için elde edilmektedir. Ankara ili fayda oranlarına ait değerler Şekil 4.26'da verilmiştir.



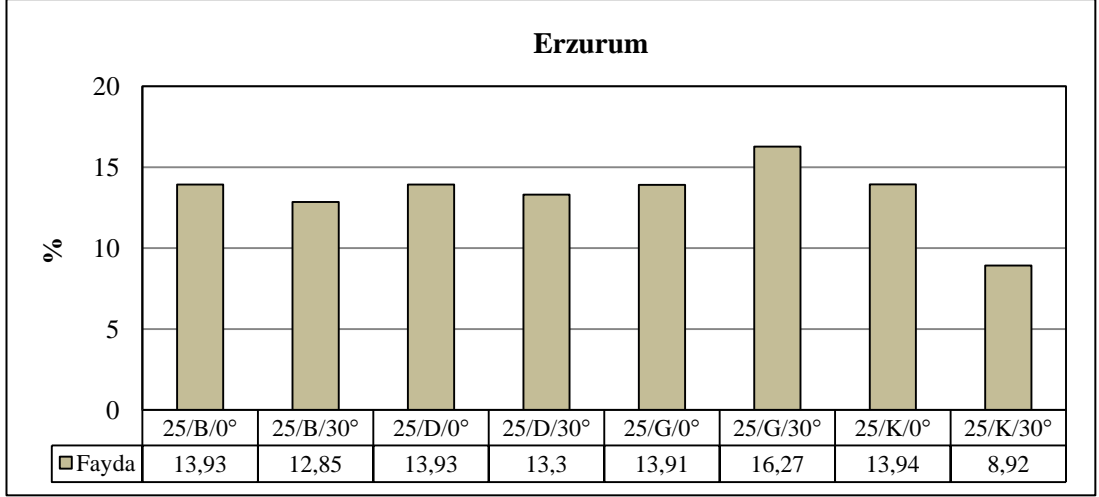
Şekil 4.26 : Ankara ili için hesaplanan fayda oranları.

Van ili için %27,59 fayda oranı ile en yüksek performans, diğer illerde olduğu gibi güney yönü ve 30⁰'lik eğim açısı için sağlanırken; en düşük performans %16,41 fayda oranı ile kuzey yönü ve 30⁰'lik eğim açısı için elde edilmektedir. Van ili fayda oranlarına ait değerler Şekil 4.27'de özetlenmiştir.



Şekil 4.27 : Van ili için hesaplanan fayda oranları.

Son olarak Şekil 4.28'de fayda oranı değerleri verilen Erzurum iline bakıldığında; diğer illerde olduğu gibi en yüksek fayda oranı yine güney yönü ve 30⁰'lik eğim açısıdır. Elde edilen en yüksek fayda oranı değeri %16,27'tür. En düşük değer ise %8,92 ile kuzey yönü ve 30⁰'lik eğim açısı için elde edilmektedir.

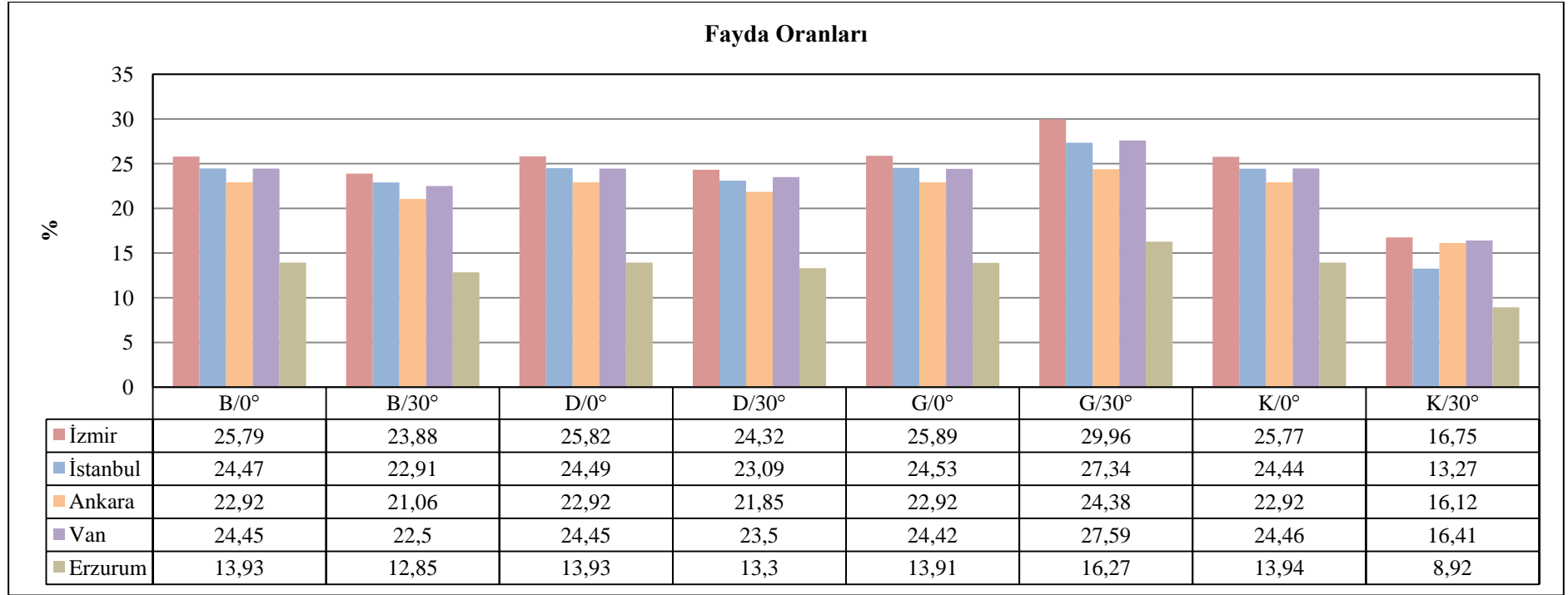


Şekil 4.28 : Erzurum ili için hesaplanan fayda oranları.

Şekil 4.29’da verilen grafikte tüm seçenekler için elde edilen fayda oranları özetlenmiştir. Bu değerler konum değişkeni açısından değerlendirildiğinde; en yüksek fayda oranına sahip il İzmir olurken, İstanbul, Van, Ankara ve Erzurum illeri onu takip etmektedir. Yüksek miktardaki enerji tüketimi ihtiyaçları nedeniyle fotovoltaik sistemden elde edilen enerji miktarı açısından 2.sırada yer alan Van ili, PV sistem kullanımının enerji yüküne faydası açısından değerlendirildiğinde 3.sıraya gerilemektedir. Benzer şekilde; PV sistemden elde edilen enerji miktarı açısından 3.sırada yer alan Erzurum ili de, PV sistemin enerji yüküne faydası açısından 5. Sıraya düşmektedir. Diğer taraftan, İstanbul ve Ankara bu anlamda değerlendirildiğinde; sıralamalarında artış olmakta, İzmir ise yine birinci sırada yer almaktadır. PV sistem kullanımının enerji ihtiyacı yüksek olan illerde daha düşük oranda fayda sağladığı söylenebilir.

4.5 Bölüm Sonucu

Bu bölümde bina cephesinde gölgeleme bileşeni olarak kullanılan fotovoltaik sistemlerin enerji etkinliğinin değerlendirilmesi amacı ile benzetim yönteminden faydalanılarak uygulama çalışması yapılmıştır. Benzetimde kullanılan veriler sabit veriler ve değişken veriler olarak iki gruba ayrılmıştır.



Şekil 4.29 : Tüm seçenekler için hesaplanan fayda oranları.

Sabit veriler: Modellenen binanın açık ofis olarak kullanıldığı varsayılmıştır. 24x24m boyutlarında kare formludur ve 10 kattan oluşmaktadır. Her bir kat için kat yüksekliği 3m'dir. Toplam inşaat alanı 5.760m²'dir. Toplamda 290 kişi binada çalışmaktadır ve çalışma saatleri hafta için günleri 08.00-17.00 arasındadır. Binada ısıtma soğutma için klima kullanılmaktadır ve doğal havalandırma yapılmaktadır. İç ortam sıcaklığı 22⁰C'nin altına düştüğünde ısıtma, 26⁰C'nin üstüne çıktığında ise soğutma sistemi devreye girmektedir. Kullanılan fotovoltaik paneller polikristal silisyum hücrelerden oluşmaktadır ve 260Wp'lik güce sahip 130 adet panel kullanılmıştır. Sistem kurulu gücü 33,8kWp'dir.

Değişken veriler: Bina konumu için 5 adet il seçilmiştir. Bunlar İzmir, İstanbul, Ankara, Van ve Erzurum'dur. Cephe yönü için kuzey, güney, doğu ve batı yönleri alınmıştır. Fotovoltaik panel eğim açısı için ise 0⁰ ve 30⁰ tercih edilmiştir.

Değişken veriler ile 45 adet seçenek oluşturulmuştur. Benzetimde Meteonorm, Ecotect ve Pvsol programları kullanılmıştır. Meteonorm ile illerin iklim verileri belirlenmiş, Ecotect ile seçenekler için ihtiyaç duyulan enerji yükleri hesaplanmış ve Pvsol ile de fotovoltaik panellerden elde edilen enerji miktarları belirlenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi ise; ısıtma ve soğutma yükü ihtiyaçları, Pv sistem performansı ve Pv sistemin ısıtma soğutma yüküne fayda oranlarının belirlenmesi şeklinde üç ana başlık altında grafik ve karşılaştırmalar yoluyla gerçekleştirilmiştir. Isıtma ve soğutma yükleri açısından yapılan değerlendirmede; en yüksek enerji miktarına ihtiyaç duyan ilin Erzurum olduğu görülmüştür. Erzurum'u sırasıyla İzmir, Van, İstanbul ve Ankara illeri takip etmektedir. Sonuçlar Pv sistem performansı açısından değerlendirildiğinde; en yüksek performansın İzmir ilinde elde edilebildiği görülmüştür. İzmir ilini sırasıyla Van, Erzurum, İstanbul ve Ankara illeri takip etmektedir. Bu değerler PV sistem performansında bölgenin güneş ışınım miktarı kadar iklimsel özelliklerinin de önem taşıdığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar PV sistemin ısıtma ve soğutma yüküne fayda oranları açısından değerlendirildiğinde; en yüksek değer İzmir ilinde elde edildiği ve bunu sırasıyla İstanbul, Van, Ankara ve Erzurum illerinin takip ettiği görülmektedir. Bu nedenle enerji ihtiyacı yüksek olan illerde PV sistem kullanımının daha düşük oranda fayda sağladığı söylenebilir. Sonuç olarak, en yüksek fayda oranlarının konum değişkeni için İzmir ilinde, yön değişkeni için güney yönünde ve eğim açısı değişkeni için 30⁰ eğim açısı ile yerleştirilmiş seçeneklerde gerçekleştiği belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı günden güne yaygınlaşmaktadır. Özellikle enerji tüketimi yüksek olan binalarda güneş enerjisinden faydalanan teknolojilerin kullanımı enerji etkin tasarımlar ortaya çıkartmak açısından büyük önem taşımaktadır.

Güneş bina tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli etkenlerden biridir. İç mekan konfor koşullarının sağlanmasında güneşin ihtiyaç duyulduğu oranda iç mekana alınması ne kadar önemliyse, fazlasının kontrolü de konfor açısından aynı derecede önem taşır. Güneş kontrolü sağlamada etkin yöntemlerden biri cephede gölgeleme bileşeni kullanımınıdır. Fotovoltaik panellerin gölgeleme bileşeni olarak kullanımı durumunda; güneşin fazlasının iç ortama girmesi önlenerek iç mekan konforu istenilen düzeyde tutulurken, paneller üzerine düşen ışınımı elektrik enerjisine çevirerek binanın enerji ihtiyacının bir kısmını sağlamaktadır.

Dünyada fotovoltaik panellerin bina cephesinde gölgeleme bileşeni olarak kullanıldığı örneklere sıkça rastlanmasına karşın ülkemizde halen yeterince yaygınlaşmamasının nedenleri; yüksek ilk yatırım maliyetleri, devlet teşviklerinin yetersizliği ve yanlış uygulamalar neticesinde sistemden istenilen performansın elde edilememesi olarak sayılabilir.

Çalışma kapsamında ofis binası cephesinde gölgeleme bileşeni olarak tasarlanan fotovoltaik panellerin konum, yön ve eğim açısı değişkenleri doğrultusunda oluşturulan seçenekler için ısıtma ve soğutma yükleri ile fotovoltaik sistem performansı karşılaştırılarak enerji etkinliği değerlendirilmektedir.

Çalışmada üç farklı bilgisayar benzetim programından faydalanılmıştır. Meteonorm ile illerin iklim verileri belirlenmiş, Ecotect ile seçenekler için ihtiyaç duyulan enerji yükleri hesaplanmış ve Pvsol ile de fotovoltaik panellerden elde edilen enerji miktarları belirlenmiştir.

Benzetim programları yardımıyla elde edilen sonuçlar fotovoltaik sistemin ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi açısından değerlendirildiğinde konum değişkeni için;

enyüksek fayda oranına sahip ilin İzmir, en düşük değere sahip ilin Erzurum olması sonucunda sistemin kurulacağı bölgenin enlem derecesinin sistem performansı üzerindeki etkisi ortaya koyulurken aynı zamanda bölgenin güneş potansiyeli kadar iklimsel özellikleri ve enerji ihtiyacı miktarının da önemli olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar cephe yönü değişkenine göre değerlendirildiğinde; kuzey, güney, doğu ve batı yönleri arasında en yüksek değerlerin güney yönünde, en düşük değerler kuzey yönünde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni güney cephesi günün büyük bir bölümünde güneş ile temas edebiliyorken kuzey cephesinin güneye oranla çok daha düşük oranda güneş alabilmesidir. Sonuçlar eğim açısı değişkenine göre değerlendirildiğinde ise; 0^0 ile 30^0 eğim açıları arasında yapılan karşılaştırmada 30^0 'nin daha yüksek fayda oranları sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun nedeni Bölüm 3.6.2'de de anlatıldığı gibi; ülkemiz için panel eğim açısının ortalama 30^0 civarında olduğu durumda yeryüzüne düşen ışınım ile panel yüzeyi arasındaki açı 90^0 'yi yakalayabilmekte ve bu sayede panel düşen ışınımın büyük bir kısmını üzerinde toplayarak enerjiye dönüştürebilmektedir. Sonuç olarak, en yüksek fayda oranlarının konum değişkeni için İzmir ilinde, yön değişkeni için güney yönünde ve eğim açısı değişkeni içinde 30^0 eğim açısı ile yerleştirilmiş seçeneklerde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Çalışmada binanın fotovoltaik panelleri gölgelemesi durumu göz ardı edilerek değerlendirmeler yapıldığı için, 0^0 eğim açısı için fotovoltaik panel performansları tüm yönler için (kuzey, güney, doğu, batı) eşit çıkmıştır. İleriye yönelik çalışmalarda gölgelenme etkisinin ve farklı panel açılarının da ele alındığı enerji etkinlik değerlendirmeleri yapılması faydalı olacaktır. Ayrıca gelecekte yapılacak olan çalışmalarda eşdeğer güneşlenme miktarına sahip illerde diğer iklimsel özelliklerin (dış hava sıcaklığı, hava nemi, rüzgar hızı ve yönü, yağış gibi) fotovoltaik panel performansı üzerindeki etkisinin araştırılması da faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Bacanlı, G. Ü.** (2006). Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Enerjinin Önemi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi, İstanbul.
- [2] **TMMOB,** (2012). Enerji Verimliliği Raporu, Elektrik Mühendisleri Odası, EMO Yayınları, Ankara. Alındığı Tarih: 23.12.2013, Adres: http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168_ek.pdf
- [3] **Özyurt, G.** (2009). Enerji Verimliliği, Binaların Enerji Performansı ve Türkiye’deki Durum, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 457.Sayı, s.32, Ankara.
- [4] **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,** (2010). Enerji Verimliliği Raporu 2010, Ankara. Alındığı Tarih: 11.06.2012, Adres: http://www.dektmk.org.tr/upresimler/Enerji_Raporu_20106.pdf
- [5] **Url-1** < http://www.enerji.gov.tr/Dunyada_ve_Turkiyede_Enerji_Gorunumu.pdf >, alındığı tarih: 21.11.2013.
- [6] **Url-2** < <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2012/#d.en.36200> >, alındığı tarih: 21.11.2013.
- [7] **Sarıkaya, S.** (2013). Güneş Enerjisi Sektör Raporu, Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Alındığı Tarih: 26.12.2013, Adres: http://www.daka.org.tr/panel/files/files/yayinlar/sera_sektorel.pdf
- [8] **Url-3** < <http://www.guneshaber.net/haber/1570-guncel-haberler-dunyada-gelisen-sektor-gunes-enerjisi.html> >, alındığı tarih: 24.11.2013
- [9] **Şişman, A. ve Barutçu, B.** (2010). Fotovoltaik Güç Sistemleri Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Url-4** < http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS-EuropeSolarPotential.pdf >, alındığı tarih: 24.11.2013
- [11] **Url-5** < <http://www.ebso.org.tr/b2b/ebso/dergi/resimler/RAPOR.pdf> >, alındığı tarih: 27.11.2013
- [12] **Url-6** < <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/> >, alındığı tarih: 12.12.2013
- [13] **Kıncay, O.** (t.y.). Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Güneş Enerjisi Ders Notları, Alındığı Tarih: 27.11.2013, Adres: <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/den.html>
- [14] **Url-7** < <http://www.yegm.gov.tr> >, alındığı tarih: 27.11.2013
- [15] **Url-8** < <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> >, alındığı tarih: 02.12.2013
- [16] **Turhan, S. ve Çetiner, İ.** (2012). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi, 6.Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa.

- [17] **Wachberger, M. ve Wachberger H.** (1988). Güneş İle İnşa Etmek – Pasif Enerjisi Kullanımı, Çeviren: Gerçek, L. ve Akın, S., s.12-13, Maya, Ankara.
- [18] **Efe, A.** (2009). Pasif Güneş Evlerinde Bina Kabuğu Sistemi Tasarımı (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [19] **Chiras, D. D.** (2002). The Solar House Passive Heating and Cooling, Chelsea Green Publishing Company, s.95-125, Canada.
- [20] **Ulgen, K.** (t.y.). Binaların Pasif Güneş Enerjisi Sistemler Yardımıyla Isıtılması, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
- [21] **Koçlar, Oral, G.** (2010). Güneş Enerjisi ve Yapı, TMMOB Mimarlar Odası Diyarbakır Şubesi.
- [22] **Bulut, H.** (2009). Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar, Temiz Enerji Teknolojileri Kursu, Gaziantep, s.8-21. Alındığı Tarih: 11.02.2014, Adres: <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Gunes1.pdf>
- [23] **Yerebakan, M.** (2010). Güneş Kollektörü Uygulamaları, İstanbul Ticaret Odası Yayınları s.106-125, İstanbul.
- [24] **Url-9** <<http://oguzbayazit.com.tr/tr/>>, alındığı tarih: 12.02.2014
- [25] **Oktik, Ş.** (2013). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yolla Elektrik Üretmenin Gerçeği, 19. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı, İstanbul Fuar Merkezi, İstanbul.
- [26] **EPİA** (2013). Global Market Outlook For Photovoltaics 2013-2017, s.8-21, Gaziantep. Alındığı Tarih: 15.02.2014, Adres: <http://www.epia.org/>
- [27] **Url-10** <www.eren.doe.gov/aboutpv.html>, alındığı tarih: 02.03.2014
- [28] **Çıtıroğlu, A.** (2000). Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi, Mühendis Makine Dergisi, Haziran, İstanbul.
- [29] **Url-11** <<http://ugrasi.blogcu.com/gunes-pili-yapimi/7067650>>, alındığı tarih: 02.03.2014
- [30] **Url-12** <<http://www.deparsolar.com>>, alındığı tarih: 02.03.2014
- [31] **Eilfert, P. ve Kiss, G. J.** (2000). Building Integrated Photovoltaic Design for Commercial and Institutional Structures, A Source Book for Architects, U.S. Department of Energy, s. 58-63.
- [32] **Çelebi, G.** (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, Gazi Üniv.Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 17, No 3, s.17-33.
- [33] **Url-13** <http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/ba5492f3bc2f401ek.pdf>, alındığı tarih: 06.04.2013
- [34] **Thomas, R.** (2000). Photovoltaics and architecture : An Introduction for Architects and Engineers, Spon Press, s.8, New York.
- [35] **Oktik, Ş.** (2001). Güneş-Elektrik Dönüşümleri: Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri, Temiz Enerji Vakfı.
- [36] **Markwart T. ve Castaner L.** (2003). Practical Handbook Of Photovoltaics Fundamentals and Applications, Elsevier Press, s. 71-483, New York.

- [37] **Antony F., Durschner C. ve Remmers K.** (2007). Photovoltaics For Professionals, Solarpraxis Press, s.46-52 ve s.164-198, Berlin.
- [38] **Reddy J.** (2010). Science and Technology of Photovoltaics, Sanat Printers, s.27-79 ve s.141-168, Kundli India.
- [39] **Krokawa K., Komoto K., Vleuten P. ve Faiman D.** (2003). Energy From the Desert, Earthscan Uk and USA.
- [40] **Bube R. H.** (1988). Photovoltaic Materials, Imperial Collage Press, London.
- [41] **The German Solar Enegy Society** (2005). Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide For Insallers, Architects and Engineers, UK and USA.
- [42] **Oktik Ş.** (2013). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yolla Elektrik Enerjisi Üretme Sektörünün Güncel Verileri, Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstrisi Derneği.
- [43] **Url-14** < <http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/tanriov.pdf>>, alındığı tarih: 06.04.2013
- [44] **Url-15** < <http://www.archiexpo.com/prod/fire-energy-sl/batteries-for-photovoltaic-applications-69890-581800.html>>, alındığı tarih: 06.04.2013
- [45] **Url-16** < http://www.daviddarling.info/CAE_charge_controller.html >, alındığı tarih: 06.04.2013
- [46] **Url-17** < <http://www.electasolar.co.uk>>, alındığı tarih: 21.09.2011
- [47] **Url-18** < <http://www.aes-tunisie.com/en/photovoltaics-grid-connection.php>>, alındığı tarih: 27.04.2013
- [48] **Url-19** < http://www.iea-pvps-task10.org/IMG/pdf/rep10_06.pdf >, alındığı tarih: 27.04.2013
- [49] **Boztepe M.** (2009). Fotovoltaik Sistemler, Yeni Enerji Kaynakları Ders Notları.
- [50] **Url-20** <<http://www.aes-tunisie.com/en/photovoltaics-off-grid-activities.php>>, alındığı tarih: 27.04.2013
- [51] **Url-21** < <http://www.directindustry.de/prod/southwest-windpower/integrierten-photovoltaik-solarmodulen-20674-1312505.html>>, alındığı tarih: 27.04.2013
- [52] **Thomas, R. ve Fordham, M.** (2001). Photovoltaics and Architecture, Spon Press, London and Newyork.
- [53] **Url- 22** < <http://www.ayrintiteknolojileri.com.tr>>, alındığı tarih: 17.05.2014
- [54] **Url- 23** < http://www.solartek.com.tr/enerji_potansiyeli.php >, alındığı tarih: 24.12.2011
- [55] **Roberts, S. ve Guariento, N.** (2009). Building Integrated Photovoltaics A Handbook, Birkhauser Press, Berlin, Germany.
- [56] **Url- 24** < <http://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html> >, alındığı tarih: 20.05.2014
- [57] **Url- 25** < http://www.zedfactory.com/projects_housing_upton.html.>, alındığı tarih: 24.12.2011

- [58] **Prasad, D. ve Snow, M.** (2005). Designing With Solar Power, A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV), Australia, Images Publishing.
- [59] **Watt, M., Kaye, J., Travers, D. ve MacGill, L. M.** (1999). Opportunities for the Use of Building Integrated Photovoltaics”, Photovoltaics Special Research Centre University of NSW. Alındığı Tarih: 28.05.2014, Adres: www.pv.unsw.edu.au/miscpapers/BIPV/Chap2.pdf
- [60] **Çelebi, G.** (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, Gazi Üniv.Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 17, No 3, s.17-33.
- [61] **Url- 26** < <http://www.ecohisolar.co.uk> > alındığı tarih: 22.05.2014
- [62] **Url- 27** < <http://www.dogal-enerji.net> > alındığı tarih: 22.05.2014
- [63] **Url- 28** < <http://www.ozkanaksesuar.com> > alındığı tarih: 22.05.2014
- [64] **Eilfert, P. ve Kiss, G. J.** (2000). Building Integrated Photovoltaic Design for Commercial and Institutional Structures, A Source Book for Architects, U.S. Department of Energy, s. 58-63.
- [65] **Url- 29** < <http://www.parshanya.in> > alındığı tarih: 03.06.2014
- [66] **Url- 30** < <https://www.phoenixcontact.com> > alındığı tarih: 03.06.2014
- [67] **Url- 31** < <http://www.archiexpo.com> > alındığı tarih: 03.06.2014
- [68] **Kutlu, Güvenkaya, R.** (2008). İlköğretim Dersliklerinde Aydınlatma Enerjisi Yönetimi Açısından Yönlere Göre Uygun Cephe Seçeneklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Yaklaşım (doktora tezi), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [69] **Köknel, Yener, A.** (1996). Pencerele Uygulanan Gölgeleme Araçlarının Tasarımında İklimsel ve Görsel Konfor Koşullarının Sağlanması Amacıyla Kullanılabilecek Bir Yaklaşım (doktora tezi), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [70] **Url- 32** < http://www.symmetryco.com/Outdoor_files/Outdoor.htm > alındığı tarih: 25.01.2015
- [71] **Url- 33** < <https://mattgieseking.files.wordpress.com> > alındığı tarih: 25.01.2015
- [72] **Url- 34** < <http://www.colinfo.co.uk/photovoltaic-shading-pv-shading-louvre.html> > alındığı tarih: 11.06.2014
- [73] **Url- 35** < <http://www.Aplust.com> > alındığı tarih: 11.06.2014
- [74] **Url- 36** < <http://www.pvresources.com/BIPV/> > tarih: 11.06.2014
- [75] **TSE 825** (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [76] **ASHRAE 55** (2010). Thermal environmental conditions for human occupancy, *ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)*, Amerika Birleşik Devletleri.
- [77] **Url- 37** < <http://www.csun-solar.com> > alındığı tarih: 16.11.2014
- [78] **Url- 38** < <http://www.fronius.com> > alındığı tarih: 16.11.2014
- [79] **Url- 39** < <http://www.gard.com/weather/index.htm> > alındığı tarih: 12.11.2014

- [80] **Url- 40** < <http://www.meteororm.com>> alındığı tarih: 12.11.2014
- [81] **Url- 41** < <http://www.teknodan.com.tr>> alındığı tarih: 11.11.2014
- [82] **Url- 42** < [http:// www.autodesk sustainability workshop. com](http://www.autodesk_sustainability_workshop.com) > alındığı tarih: 12.11.2014
- [83] **Lalwani, M., Kothari D. P. ve Singh, M.** (2010). Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares, International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul, Volume 1, No 3, Integrated Publishing Association.

EKLER

EK A: Seçenekler için hesaplanan yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri

EK A**Çizelge A.1 : Tüm seçenekler için elde edilen ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri**

| Seçenek No. | Seçenek Kodu | Yıllık Isıtma Enerjisi Yüğü (kWh-yıl) | Yıllık Soğutma Enerjisi Yüğü (kWh-yıl) | TOPLAM (kWh-yıl) |
|-------------|--------------------------|---------------------------------------|--|------------------|
| S1 | 35 / B / 0 ⁰ | 48.918,036 | 139.004,866 | 187.992,902 |
| S2 | 35 / B / 30 ⁰ | 49.084,738 | 137.553,608 | 186.618,346 |
| S3 | 35 / D / 0 ⁰ | 48.918,646 | 138.895,137 | 187.813,783 |
| S4 | 35 / D / 30 ⁰ | 49.083,355 | 137.508,620 | 186.591,975 |
| S5 | 35 / G / 0 ⁰ | 48.918,705 | 138.337,137 | 187.255,842 |
| S6 | 35 / G / 30 ⁰ | 49.083,274 | 137.185,465 | 186.268,739 |
| S7 | 35 / K / 0 ⁰ | 48.919,407 | 139.227,654 | 188.197,061 |
| S8 | 35 / K / 30 ⁰ | 49.084,506 | 137.936,596 | 187.021,101 |
| S9 | 35 / - / - | 48.335,639 | 140.302,623 | 188.658,263 |
| S10 | 34 / B / 0 ⁰ | 85.214,113 | 76.684,887 | 161.899,000 |
| S11 | 34 / B / 30 ⁰ | 85.553,913 | 75.328,841 | 160.882,754 |
| S12 | 34 / D / 0 ⁰ | 85.276,761 | 76.515,239 | 161.792,000 |
| S13 | 34 / D / 30 ⁰ | 85.553,061 | 75.328,724 | 160.881,785 |
| S14 | 34 / G / 0 ⁰ | 85.194,402 | 76.340,342 | 161.534,744 |
| S15 | 34 / G / 30 ⁰ | 85.561,792 | 75.128,713 | 160.690,505 |
| S16 | 34 / K / 0 ⁰ | 85.276,382 | 76.827,262 | 162.103,744 |
| S17 | 34 / K / 30 ⁰ | 85.553,262 | 75.516,821 | 161.070,083 |
| S18 | 34 / - / - | 84.724,678 | 77.476,131 | 162.200,809 |
| S19 | 06 / B / 0 ⁰ | 111.641,579 | 56.958,730 | 168.600,309 |
| S20 | 06 / B / 30 ⁰ | 113.660,883 | 55.052,798 | 168.713,681 |
| S21 | 06 / D / 0 ⁰ | 111.637,430 | 56.960,074 | 168.597,504 |
| S22 | 06 / D / 30 ⁰ | 113.662,272 | 55.053,906 | 168.716,178 |
| S23 | 06 / G / 0 ⁰ | 111.628,952 | 56.957,430 | 168.586,382 |
| S24 | 06 / G / 30 ⁰ | 112.189,542 | 56.691,781 | 168.881,323 |
| S25 | 06 / K / 0 ⁰ | 111.643,068 | 56.958,872 | 168.601,940 |
| S26 | 06 / K / 30 ⁰ | 111.939,347 | 56.693,881 | 168.663,228 |

| | | | | |
|-----|--------------------------|-------------|------------|-------------|
| S27 | 06 / - / - | 110.692,177 | 57.731,697 | 168.423,874 |
| S28 | 65 / B / 0 ⁰ | 144.904,521 | 41.132,246 | 186.036,767 |
| S29 | 65 / B / 30 ⁰ | 145.243,863 | 40.882,912 | 186.126,775 |
| S30 | 65 / D / 0 ⁰ | 144.957,521 | 41.132,692 | 186.090,213 |
| S31 | 65 / D / 30 ⁰ | 145.189,539 | 40.009,113 | 186.198,654 |
| S32 | 65 / G / 0 ⁰ | 145.280,539 | 41.010,230 | 186.290,769 |
| S33 | 65 / G / 30 ⁰ | 145.389,566 | 41.008,628 | 186.398,194 |
| S34 | 65 / K / 0 ⁰ | 144.870,603 | 41.132,275 | 186.002,878 |
| S35 | 65 / K / 30 ⁰ | 144.885,603 | 41.132,092 | 186.017,695 |
| S36 | 65 / - / - | 143.667,299 | 42.198,947 | 185.866,246 |
| S37 | 25 / B / 0 ⁰ | 308.051,853 | 3.149,839 | 311.201,692 |
| S38 | 25 / B / 30 ⁰ | 308.164,433 | 3.266,213 | 311.430,646 |
| S39 | 25 / D / 0 ⁰ | 308.073,082 | 3.149,765 | 311.222,847 |
| S40 | 25 / D / 30 ⁰ | 308.427,866 | 3.257,784 | 311.685,650 |
| S41 | 25 / G / 0 ⁰ | 308.532,948 | 3.149,213 | 311.682,161 |
| S42 | 25 / G / 30 ⁰ | 308.982,587 | 3.265,414 | 312.248,001 |
| S43 | 25 / K / 0 ⁰ | 307.842,482 | 3.149,805 | 310.996,287 |
| S44 | 25 / K / 30 ⁰ | 307.931,155 | 3.150,023 | 311.081,178 |
| S45 | 25 / - / - | 306.759,209 | 3.371,763 | 310.223,972 |

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Seval TURHAN CER

Doğum Yeri ve Tarihi: BALIKESİR / 1987

Adres: Şişli / İSTANBUL

E-Posta: sevaltur@gmail.com

Lisans: Trakya Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 2008.

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Kayapı şirketi proje koordinatörü (2009 -)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Turhan, S. ve Çetiner, İ.** (2012). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi, 6.Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa.

