
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

EĞİTİM YAPILARINDA PV KULLANIMININ BİNA YÖNELİMİNE GÖRE ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRMESİ; KIRIKKALE İLİ İÇİN BİR ARAŞTIRMA

Büşra ÖZEV

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2025

ETİK BEYAN

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

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

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

Büşra ÖZEV

20/01/2025

EĞİTİM YAPILARINDA PV KULLANIMININ BİNA YÖNELİMİNE GÖRE ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRMESİ; KIRIKKALE İLİ İÇİN BİR ARAŞTIRMA

(Yüksek Lisans Tezi)

Büşra ÖZEV

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

Artan enerji ihtiyacı ve çevresel kaygılar, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını her zamankinden daha önemli hale getirmiştir. Güneş enerjisi, sürdürülebilirliği ve çevre dostu yapısıyla bu kaynaklar arasında öne çıkmaktadır. Eğitim binaları, geniş çatı yüzeyleriyle PV paneller için uygun altyapı sunarken, bu yapılar üzerinde gerçekleştirilecek enerji iyileştirme çalışmaları çevresel bilinci artırmak ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak adına kritik bir rol oynamaktadır. Çalışmanın temel amacı, mevcut yapı stoğu içerisindeki aynı bölgedeki farklı tip projeler ve yönlenme koşulları için en ideal PV panel kullanımına yönelik bir araştırma yapmaktır. Bu çalışma, Kırıkkale ilindeki eğitim binalarında PV panel uygulamalarının enerji verimliliğine etkilerini incelemektedir. Araştırma kapsamında, farklı yönelim ve plan tiplerine sahip dört eğitim binası seçilmiştir. Karşılaştırma imkanı elde etmek amacıyla iki farklı tip seçilmiştir. Seçilen iki farklı plan tipinden dikdörtgen plan tipine sahip iki okul ile E plan tipine sahip iki okul, yönlenme durumunun değişimi ile PV panel uygulamasındaki kıyaslamalar yapılmıştır. Bu binaların enerji üretim performansları SketchUp, Skelion ve PVsyst yazılımları kullanılarak simüle edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, dikdörtgen plan tipi ve E plan tipindeki binalarda doğu-batı yöneliminin daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çatıların enerji üretiminde cephelere kıyasla daha yüksek verimlilik sunduğu belirlenmiştir. Toplam üretilen elektrik maliyeti, konstrüksiyon maliyeti, toplam maliyet ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri her modelin konstrüksiyon ve panel maliyetinin sağladığı kazanca oranlanmasıyla hesaplanmış ve sonuç yıl cinsinden ifade edilmiştir. Dikdörtgen plan tipinde D1, E plan tipinde E2 daha uzun geri ödeme süresine sahiptir. Eğitim binalarının çatı ve cephelerine yerleştirilecek PV panellerin enerji üretim performansını karşılaştırmayı, farklı plan tipleri ve yönelimlerinin enerji verimliliği üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar, PV panellerin mevcut eğitim binalarında uygulanabilirliğinin enerji verimliliği açısından büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bilim Kodu	:	80130
Anahtar Kelimeler	:	PV panel, enerji verimliliği, eğitim binaları, plan tipi, plan yönelimi, Kırıkkale
Sayfa Adedi	:	98
Danışman	:	Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF PV USAGE IN EDUCATIONAL BUILDINGS BASED ON BUILDING ORIENTATION: A CASE STUDY OF KIRIKKALE PROVINCE

(M. Sc. Thesis)

Büşra ÖZEV

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2025

ABSTRACT

The increasing energy demand and environmental concerns have made the use of renewable energy sources more important than ever. Solar energy stands out among these sources due to its sustainability and eco-friendly nature. Educational buildings, with their large roof surfaces, provide suitable infrastructure for PV panels, and energy improvement efforts on these structures play a critical role in raising environmental awareness and achieving sustainability goals. The main objective of this study is to investigate the optimal use of PV panels for different types of projects and orientation conditions within the existing building stock in the same region. This study examines the impact of PV panel applications on energy efficiency in educational buildings in Kırıkkale. Within the scope of the research, four educational buildings with different orientations and plan types were selected. Two different plan types were chosen for comparison purposes. Among the selected buildings, two schools with a rectangular plan type and two schools with an E-shaped plan type were compared in terms of PV panel applications with varying orientations. The energy production performance of these buildings was simulated using SketchUp, Skelion, and PVsyst software. The analysis results indicate that an east-west orientation is more efficient for both rectangular and E-shaped plan types. Additionally, it was determined that roofs offer higher efficiency in energy production compared to facades. The total generated electricity cost, construction cost, total cost, and payback period were calculated. Payback periods were determined by comparing the construction and panel costs of each model to the financial gains, and the results were expressed in years. Among the evaluated cases, the D1 model in the rectangular plan type and the E2 model in the E-shaped plan type had longer payback periods. The study compares the energy production performance of PV panels installed on the roofs and facades of educational buildings, analyzing the impact of different plan types and orientations on energy efficiency. The results demonstrate that the application of PV panels in existing educational buildings has significant potential in terms of energy efficiency.

Science Code	:	80130
Key Words	:	Photovoltaic panel, energy efficiency, educational buildings, plan type, plan orientation, Kırıkkale
Page Number	:	98
Supervisor	:	Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

TEŞEKKÜR

Öncelikle, tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, akademik gelişimime büyük katkılar sağlayan, karşılaştığım sorunlarda beni yönlendirip her koşulda destekleyen, anlayışlı ve hoşgörülü tavrıyla bana sürekli cesaret veren değerli danışmanım Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi, yüksek lisans sürecimde de maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen annem Şükran ATASEVER, babam Kemal ATASEVER'e ve kardeşlerime, akademi yolunda desteğini esirgemeyen müdürlerim Bekir ALTUNÇANAK ve Eda Gökçe TOPRAK'a, tez çalışması sürecimdeki kıymetli desteklerinden dolayı Kırıkkale İl Milli Eğitim Müdürlüğü çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan, anlayışı ve sevgisiyle bana sürekli destek veren eşim Oğuzhan ÖZEV'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ x
HARİTALARIN LİSTESİ xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR xiv
1. GİRİŞ 1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ VE AKTİF GÜNEŞ SİSTEMLERİ 7
2.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli 9
2.1.1. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli 13
2.2. Fotovoltaik (PV) Sistemler 17
2.2.1. Fotovoltaik sistem bileşenleri 22
2.2.2. PV sistemlerin verimliliklerini etkileyen faktörler 26
2.2.3. Fotovoltaik panellerin binalardaki uygulamaları 30
2.2.4. Eğitim yapılarında fotovoltaik panel kullanımı 31
3. LİTERATÜR TARAMASI 39
4. EĞİTİM YAPILARINA YÖNELİK ENERJİ POLİTİKALARI 43
5. YÖNTEM 45
5.1. Dünya ve Türkiye'deki Eğitim Yapılarının Enerji Etkin Yenileme Çalışmaları 46
5.2. Milli Eğitim Bakanlığı'nın Enerji Etkin Yenileme Çalışmaları 51
5.3. Seçilen Binaların Analizleri 55
5.4. Sketchup ve PVSyst Programları ile Modelleme Yapılması 58

Sayfa

5.5. PV Panellerin Yapım Maliyetinin Hesaplaması 65
6. ALAN ÇALIŞMASI 69
6.1. Yönelim Farklarının Karşılaştırılması 73
6.2. Çatı ve Çatı+Cephe Yerleşim Farklarının Karşılaştırılması 76
6.3. Maliyet Hesabının Yapılması 79
6.4. Bulguların Mevcut Yapılar Doğrultusunda Değerlendirilmesi 81
7. SONUÇ 83
KAYNAKLAR 87
EKLER 93
ÖZGEÇMİŞ 98

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Türkiye'nin bölgeler bazında toplam güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi 14

Çizelge 2.2. BIPV ve BAPV sistemlerinin karşılaştırılması..... 31

Çizelge 2.3. Binalarda ısı kayıpları ve kazançları ile bunların bina sistemlerine olan etkileri 33

Çizelge 2.4. Mevcut ve yeni toplam bina stoğu..... 35

Çizelge 5.1. School of the future projesi (BUILD UP)..... 48

Çizelge 5.2. New building institute (NBI)..... 49

Çizelge 5.3. Kamu binalarında enerji verimliliği projesi (KABEV) 50

Çizelge 5.4. MEB'in enerji etkin yenilmeye dair projeleri..... 53

Çizelge 5.5. Örneklemi oluşturulan okul binaları..... 58

Çizelge 5.6. Seçilen okulların yıllık enerji tüketimi 67

Çizelge 6.1. PV panellerin üretim değerleri..... 73

Çizelge 6.2. Toplam üretilen elektrik maliyeti 79

Çizelge 6.3. Konstrüksiyon maliyeti..... 80

Çizelge 6.4. Toplam maliyet..... 80

Çizelge 6.5. Geri ödeme süresi 81

Çizelge 6.6. Kombinasyonların ürettiği enerji miktarının bina yıllık enerji tüketimine oranı..... 82

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Tez akış şeması 4

Şekil 2.1. Farklı bina enerji ihtiyaçlarını kapsayan güneş enerjisi teknolojileri 8

Şekil 2.2. Fotovoltaik (pv) kurulum kapasitesi 9

Şekil 2.3. Pv panellerin küresel kapasitesi ve yıllık ilaveler, 2011-2021 10

Şekil 2.4. Yenilenebilir güç kapasitesi 10

Şekil 2.5. Güneş enerjisi teknolojileri için yıllık yatırımlar ve kapasite ilaveleri, 2013-2022 11

Şekil 2.6. Kaynaklara göre ortalama elektrik birim üretim maliyetinin değişimi 12

Şekil 2.7. Ülkelere göre bağlı güneş toplam kurulum maliyeti ($kw, 2022) 12

Şekil 2.8. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli 13

Şekil 2.9. Türkiye’de ges kurulu gücünün ve elektrik üretiminin yıllara göre gelişimi 15

Şekil 2.10. Türkiye'nin kurulu gücü (gw) ve dünya sıralamasında yeri 16

Şekil 2.11. Kırıkkale’nin güneş enerjisi potansiyeli atlası 16

Şekil 2.12. (a) Güneşlenme süreleri (saat) (b) PV tipi-alan-üretilebilecek enerji (kwh-yıl) 17

Şekil 2.13. Tipik bir pv hücresinin farklı bileşenlerinin şeması 18

Şekil 2.14. Mart 1973'te tamamlanan ve Karl W. Böer ekibi tarafından inşa edilen Newark, Delaware'deki solar one evi 19

Şekil 2.15. Güneş enerjisi sektöründeki önemli gelişmeler 20

Şekil 2.16. Fotovoltaik hücreler, modüller ve diziler 23

Şekil 2.17. Üç ana pv hücresi türü 23

Şekil 2.18. Dc-ac inverter 25

Şekil 2.19. Şarj kontrol üniteleri 25

Şekil 2.20. Akü 26

Şekil 2.21. Gün boyunca değişen ışık şiddeti 27

Şekil 2.22. Pv modülünün enleme göre eğimi 28

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.23. Fotovoltaik modülün performansı üzerindeki negatif güç sıcaklık katsayısının etkileri 29

Şekil 2.24. Fotovoltaik kısmi gölgeleme etkilerinin simülasyon sonuçları 30

Şekil 2.25. Farklı bina tiplerinde bina başına panel miktarı 35

Şekil 2.26. Mevcut ve yeni toplam bina stoğu oranları 36

Şekil 2.27. Bina enerji yenilemesi 36

Şekil 2.28. Okulların ortalama enerji kullanım profili 37

Şekil 4.1. Uluslararası enerji mevzuatlarının gelişim süreci 43

Şekil 4.2. Türkiye'de enerji verimliliği konusunda yapılan kamusal ve yasal düzenlemeler 44

Şekil 5.1. Çalışmanın yöntem aşamaları 45

Şekil 5.2. Seçilen okulların vaziyet planları 56

Şekil 5.3. Gazi ilkokulu sketchup modellemesi 60

Şekil 5.4. Mustafa Kemal Ortaokulu sketchup modellemesi 60

Şekil 5.5. Pvsyst 7.4. Programı arayüzü 62

Şekil 5.6. Konum bilgilerinin girilmesi 63

Şekil 5.7. Sistem bilgilerinin girilmesi 64

Şekil 5.8. Yakın gölgelemeler modülünden modelin içeri aktarımı 64

Şekil 5.9. Rapor oluşturma 65

Şekil 5.10. Seçilen okulların aylık enerji tüketimi 66

Şekil 5.11. Güncel elektrik birim fiyatları 67

Şekil 5.12. Çatı ve cephede profil yerleşimleri 68

Şekil 6.1. Seçilen binaların yönelimi (cephe a'dan bina girişi) 69

Şekil 6.2. Pv panel yerleşimi 70

Şekil 6.3. D1-ç, d1-çc, d2-ç, d2-çc modelleri 71

Şekil 6.4. E1-ç, e1-çc, e2-ç, e2-çc modelleri 72

Şekil 6.5. Yönelime göre toplam üretilen enerji (kwh/yıl) 74

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.6. Yönelime göre üretilebilir enerji (kwh/kwp/yıl)..... 75

Şekil 6.7. Yönelime göre performans oranları (%)..... 76

Şekil 6.8. Çatı ve çatı+cephe yerleşimine göre toplam üretilen enerji (kwh/yıl) 77

Şekil 6.9. Çatı ve çatı+cephe yerleşimine göre üretilebilir enerji (kwh/kwp/yıl)..... 78

Şekil 6.10. Çatı ve çatı+cephe yerleşimine göre performans oranları (%)..... 78

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 5.1. Seçilen binaların konumları 57

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
°	Derece
GWh	Gigawatt-saat
kg	Kilogram
kWh/yıl	Kilowatt saat bölü yıl
kWh/kWp/yıl	Kilowatt saat bölü Kilowatt peak bölü yıl
kWp	Kilowatt peak
MW	Megawatt
MWe	Megawatt elektrik
TL	Türk lirası
Wp	Watt peak

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif akım
Ar-Ge	Araştırma-geliştirme
BAPV	Binaya uygulanan fotovoltaikler
BEP	Bina Enerji Performansı
BIPV	Binaya entegre fotovoltaikler
BOS	Sistem Dengesi
ÇSB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DC	Doğru akım
DoD	Deşarj Derinliği
DOE	ABD'de Enerji Bakanlığı
EKAP	Elektronik Kamu Alımları Platformu
EPBD	Binaların Enerji Performansı Direktifi

Kısaltmalar	Açıklamalar
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GaAs	Galyum arsenit
GENSED	Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstrisi Derneği
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	Güneş Enerji Santrali
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IPCC	Hükûmetler arası İklim Değişikliği Paneli
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
KABEV	Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi
KDV	Katma Değer Vergisi
KfW	Yeniden yapılanma kredi enstitüsü
MADAD	Avrupa Birliği Suriye Krizi Bölgesel Güven Fonu
MEB	Millî Eğitim Bakanlığı
MPPT	Maksimum Güç Noktası İzleyici
NBI	Yeni Binalar Enstitüsü
NREL	Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
nZEB	Net Sıfır Enerji Bina
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PCE	Kişisel Tüketim Harcamaları Fiyat Endeksi
PV	Fotovoltaik sistem
PWC	Price water house coopers
REN21	21. Yüzyıl Yenilenebilir Enerji Politikaları Ağı
TEİAŞ	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
VRF	Değişken debili soğutucu akışkan

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi temiz, sınırsız ve sürdürülebilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanılmasına olanak sağlayan fotovoltaik (PV) paneller, karbon salınımını sıfıra indirerek hem çevreye hem de enerji ekonomisine önemli katkılar sunmaktadır.

Fotovoltaik panellerin çok yönlü uygulanabilirliği, bu teknolojinin özellikle kentsel alanlarda daha etkin bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Eğitim binaları gibi geniş çatı yüzeylerine sahip yapılar, hem PV paneller için uygun bir altyapı sunmakta hem de çevresel bilinç oluşturma açısından sembolik bir değer taşımaktadır. Eğitim kurumlarının enerji verimliliği alanındaki rolü, sadece ekonomik kazanç sağlamaktan öte, toplumun enerji farkındalığını artırarak geleceğin sürdürülebilir enerji çözümlerine zemin hazırlamaktır.

Türkiye'de eğitim yapılarının enerji tüketimi kamu yapıları arasında %15'tir (Bakkal, 2019). Bu nedenle enerji verimliliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Milli Eğitim Bakanlığı'nın 2021-2022 istatistiklerine göre Türkiye'de 70.383 okul binası bulunmaktadır. Okul binalarının içerisinde ilkokul binaları 24.519 ile en fazla sayıya sahiptir. İlkokul binalarında bulunan öğrenci sayısı 5.433.901, öğretmen sayısı 310.477'dir (Millî Eğitim İstatistikleri Örgün Eğitim, 2021/'22).

ABD Enerji Bakanlığı (DOE), okul ve üniversitelerin enerji için yıllık harcadıkları enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar ile CO2 emisyonunu %25 oranında azalacağını tahmin etmektedir. Ayrıca bu durumun sınıf içerinde bulunan öğrencilerin öğrenme verimliliğine ve sağlığına önemli ölçüde katkı sağlayacağı belirtilmiştir (Zhang ve diğerleri, 2017).

Yeni yapılacak binalarda enerji tüketiminin azaltılmasında daha bilinçli yaklaşımlar uygulanabilecekken mevcut yapı stoğu üzerine de stratejiler geliştirilmelidir. Arsa sınırları içerisinde en optimum yönlenme kararı birçok bileşene bağlı olmakla birlikte özellikle güneş enerjisinden yararlanmada temel karar aşamasıdır.

Çalışmanın amacı

Çalışmanın temel amacı, mevcut yapı stoğu içerisindeki aynı bölgedeki farklı tip projeler ve yönlenme koşulları için en ideal PV panel kullanımına yönelik bir araştırma yapmaktır. Çalışmada seçilen okul binaları üzerinden yapılan simülasyonlar, PV sistemlerinin uygulama alanlarına ilişkin verimlilik karşılaştırmaları yapılmasını sağlamış ve bu alandaki araştırma eksikliğini gidermeyi amaçlamıştır.

Çalışmanın kapsamı

Milli Eğitim Bakanlığı'nın (MEB) enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji projelerine yönelik politikaları önemli bir inceleme alanı sunmaktadır. Çeşitli uluslararası ve ulusal projelerde, eğitim binalarının yenilenmesi ve enerji sistemlerinin modernizasyonu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ancak Türkiye'de, özellikle Kırıkkale gibi bölgelerde eğitim binalarının PV sistemleriyle entegrasyonuna dair çalışmalar sınırlı kalmıştır.

Projenin kapsamı, eğitim binalarının çatı ve cephelerine yerleştirilecek PV panellerin enerji üretim performansını karşılaştırmayı, farklı plan tipleri ve yönelimlerinin enerji verimliliği üzerindeki etkilerini analiz etmeyi içermektedir. Çalışma, enerji üretim kapasitesini artırmaya yönelik öneriler geliştirmekte ve PV sistemlerin mevcut eğitim binalarına entegrasyonu için bir model sunmaktadır.

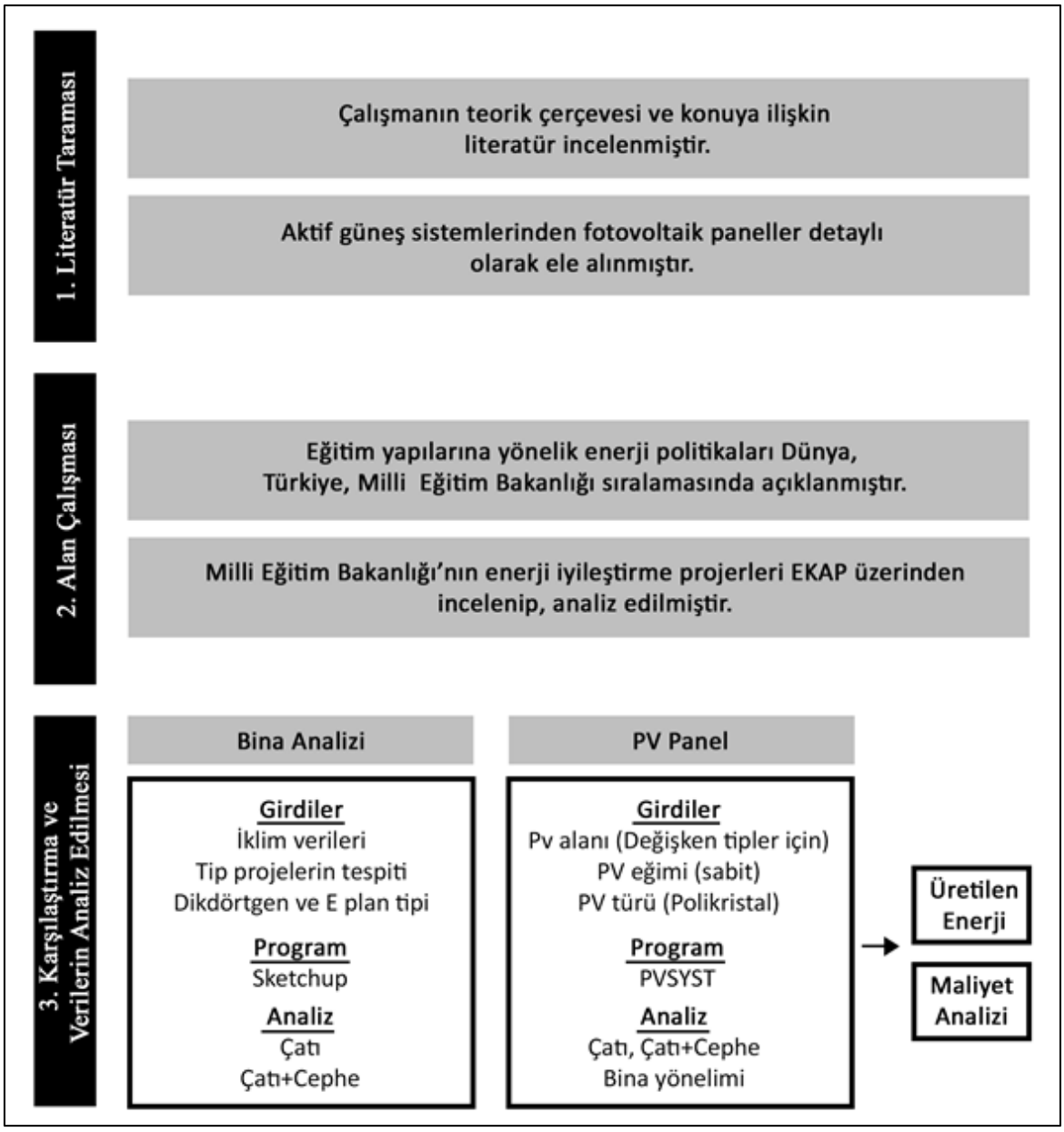
Çalışmanın yöntemi

Literatür taramaları ardından çalışmada iki aşamalı bir alan çalışması yapılmıştır. İlk aşamada mevcut yapılardan bir örneklem belirlenmiştir. İkinci aşamada simülasyonlar yapılmıştır.

Çalışma kapsamında öncelikle mevcut durumu tespit etmek amacıyla Dünya ve Türkiye’de bulunan enerji iyileştirme ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Sonrasında eğitim binalarında yapılan çalışmaları tespit etmek adına Milli Eğitim Bakanlığı’nın projelerinin çıkan ihaleler üzerinden hangi kapsamda girişimler olduğuna bakılmıştır. Pasif iyileştirmelerin yoğun olduğu, ancak PV sistemlerin de bu kapsamda gündeme geldiği tespit edilmiştir.

Kırıkkale İl Milli Eğitim Müdürlüğü'nün enerji iyileştirme üzerine çalışma yaptığı okulların listesi alınmış, vaziyet planları incelenmiştir. Farklı tip projeler olduğu, hatta bu projelerin ilgili parsel şartlarında değişen yönlenmeler ile kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu noktada mevcut yapılar için engel teşkil eden yönlenme durumunun iyileştirmeler kapsamında etkisine odaklanılmıştır. Karşılaştırma imkanı elde etmek amacıyla iki farklı tip seçilmiştir. Seçilen iki farklı plan tipinden dikdörtgen plan tipine sahip iki okul ile E plan tipine sahip iki okul, yönlenme durumunun değişimi ile PV panel uygulamasındaki kıyaslamalar yapılmıştır. Bu inceleme, SketchUp, Skelion ve PVsyst modelleme ve simülasyon yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bina yönelimine göre PV panellerin performansı tespit edilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında, PV panellerin enerji üretiminde etkili bir araç olduğunu ve çatı yüzeylerinin bu paneller için en uygun alanlar arasında yer aldığını göstermiştir. Dikdörtgen plan tipindeki binalar için doğu-batı yönelimi, E plan tipinde ise güney-kuzey yönelimi daha verimli bulunmuştur. Çatılara ek olarak cephelerde de paneller kullanılmış, ancak cephe panellerinin gölgeleme, açı ve yüzey faktörleri nedeniyle çatılara kıyasla daha düşük verimlilik sunduğu tespit edilmiştir. Modeller arasında yapılan karşılaştırmada, dikdörtgen plan tipindeki binaların daha yüksek enerji üretim kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm modellerde, performans oranlarının kış aylarında, üretilen toplam enerjinin yaz aylarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1.1. Tez akış şeması

Sınırlılıklar

Tez kapsamında senaryolarda değişken olarak plan tipi ve yönelimi esas alınmıştır. Seçilen yapılar Kırıkkale ilinde inşa edilmiş eski okul binalarıdır. İl Milli Eğitim Müdürlüğü'nün enerji yenilemesi yapacağı okullar arasında yer almaktadır. Seçilen referans yapıların karşılaştırma yapılacağı durumlar;

- Dikdörtgen plan tipi iki referans binanın seçilmesi (çatı uygulaması)
- Dikdörtgen plan tipi iki referans binanın seçilmesi (çatı+cephe uygulaması)
- E plan tipi iki referans binanın seçilmesi (çatı uygulaması)
- E plan tipi iki referans binanın seçilmesi (çatı+cephe uygulaması)

olarak belirlenmiştir. Senaryolarda aynı plan tipine ait okullarda aynı panel tipi ve sayısı kullanılmıştır. Fotovoltaik paneller değişken olarak kullanılmamıştır. Çevredeki ağaç, bina gibi gölge etmenleri tez kapsamında değildir. Böylece plan yöneliminin enerji üretimindeki etkisi daha net görülmüştür. Ayrıca panellerin bina üzerine yapacağı yük kapsam dışı bırakılmıştır. Plan yönelimini daha net görmek adına her çatı ve cepheye panel yerleşimi yapılmıştır. Binaya etkiyen yük analizlerin sonuçlarını değiştirip daha az panel yerleşimine sebep olabileceğinden analize dahil edilmemiştir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ VE AKTİF GÜNEŞ SİSTEMLERİ

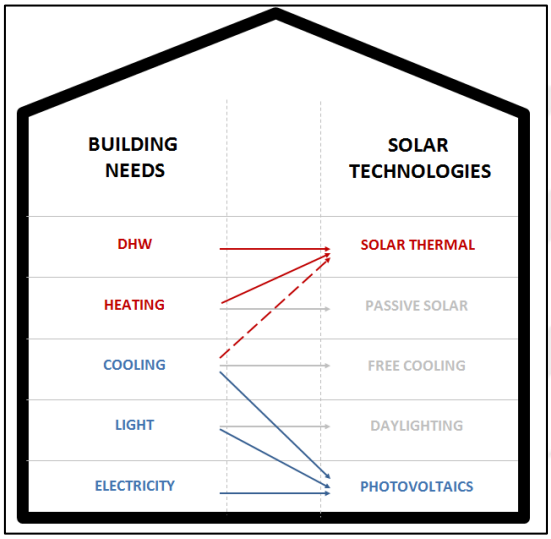
Nüfus artışı ve kentleşme dünya enerji talebinde hızlı bir büyümeye yol açmıştır. Birincil enerji tüketimindeki artışın çoğunu 2021 yılında gelişmekte olan ekonomiler oluşturmaktadır. Birincil enerji tüketimi 2021 yılında, 2019 yılına oranla %1.3'lük bir artış göstermiş olup, bu artış 2007 yılından beri en yüksek değerdir (Statistical Review of World Energy Report, 2022). Avrupa Birliği'nin İklim Eylemi 2030 yılı hedefleri, sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine kıyasla %40 oranında azaltmaktır. Enerji verimliliğinin %27'lik kısmını yenilenebilir enerjilerden sağlamayı hedeflemektedir (Vassiliades ve diğerleri, 2019).

Dünya'da bina sektörü nihai enerji kullanımının yaklaşık %36'sından ve karbondioksit emisyonlarının %39'undan sorumludur (Ang, 2022). Yakın tarihli bir IPCC raporuna göre ise binalar, toplam nihai enerji kullanımının %32'sini ve küresel enerji talebinin %51'ini oluşturmaktadır (Kazancı, Samancı, 2021). Şehirlerin mevcut yaşam alışkanlıkları büyük ölçüde sürdürülemez hale gelmekte ve doğal kaynaklara olan talep giderek artmaktadır. Bu bağlamda kentsel yapılı çevreler ve binalar emisyon azalımı için birincil bir hedeftir (Ang, 2022). Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş, potansiyeli yüksek olması sebebiyle en verimli enerji kaynaklarından biridir (Yanardağ, 2015). Güneş enerjisinden yararlanmak amacıyla geliştirilen yöntemler pasif ve aktif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Pasif sistemler, pencerelerin boyutu, yerleşimi ve bina yönü gibi çoğunlukla bina tasarımına entegre edilmiş teknikleri içerir (Mathew, 2010). Mimaride 'pasif' terimi, binanın biçimi ve dokusunu ile ilgilidir (Bilgiç, 2003). Güneş enerjisi, pasif sistemlerde bina bileşenleri yoluyla doğal aydınlatma ve ısı kaynağı olarak kullanılır (Kaya, 2022). Aktif ve pasif güneş sistemleri arasındaki fark güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla aktif bir eleman kullanılması ile ilgilidir. Aktif bir sistemin kullanılmadığı binalar pasif olarak adlandırılmaktadır (Köksal, 2018). Aktif güneş sistemleri, binalarda güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanımına olanak sağlamakta ve kullandıkları güneş ışınlarını elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir (Demircan ve diğerleri, 2017).

Binalarda enerji üretimi için güneş enerjisinden yararlanabilmesi amacıyla kullanılan aktif güneş sistemlerinin binalara entegrasyonu ön plana çıkmaktadır. Bu durum yerinde enerji üretimi yoluyla yapı sektöründen enerji ihtiyacının azaltılmasına etkin katkı sağlamaktadır

(Hestnes, 1999). Aktif güneş sistemlerinin mevcut binaların kabuğunda kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyi kullanarak enerji tüketimini azaltmak için önemli bir fırsat sunmaktadır (Bougiatioti ve diğerleri, 2015). Binaya entegre güneş aktif sistemlerinin binaların mimari tasarımdaki kilit rolü, özellikle yıllık güneş enerjisinin yüksek değerlerinin kaydedildiği ülkelerde giderek belirgin hale gelmektedir (Vassiliades ve diğerleri, 2019). Güneş enerjisi, aktif veya pasif formlarda, binaların tüm enerji ihtiyaçlarını karşılayabilir; alan ısıtma, aydınlatma, soğutma ve sıcak su alanlarında kullanılabilir (Edelman ve diğerleri, 2012) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Farklı bina enerji ihtiyaçlarını kapsayan güneş enerjisi teknolojileri (Edelman ve diğerleri, 2012)

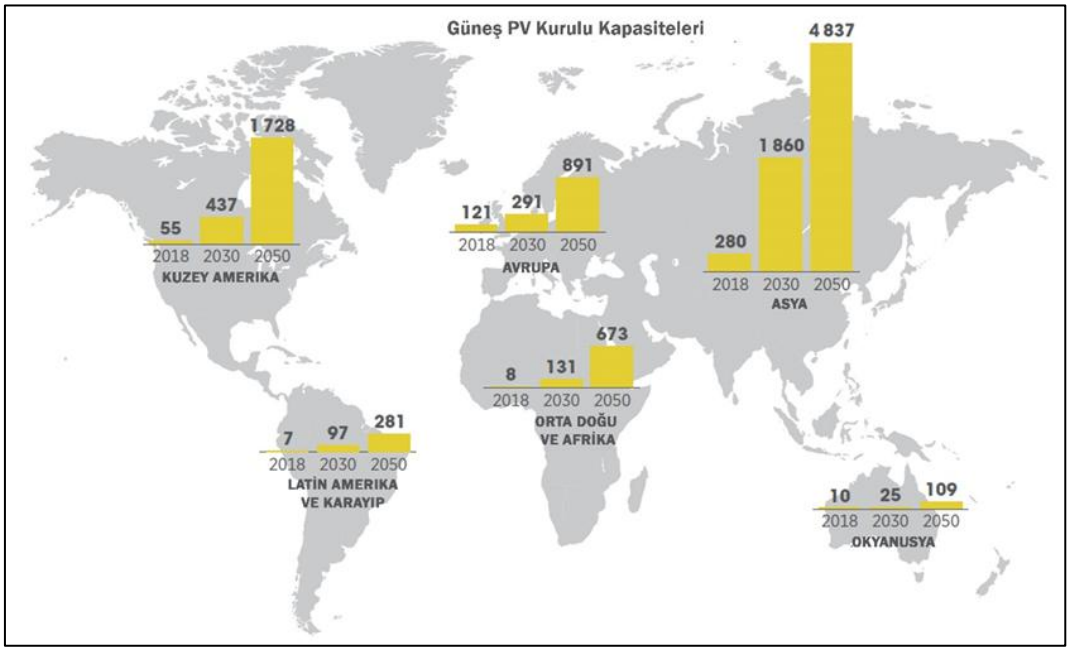
Aktif güneş enerjisi sistemleri, diğer sistemler ile kıyaslandığında en yaygın olan ve geri dönüşüm maliyeti en uygun olan sistemdir. Bu sistemlerin arasında da en yaygın kullanılan ise fotovoltaik (PV) panel sistemler ve güneş kollektörleridir. PV paneller yapı kabuğuna entegre ve çatı kaplamalarının üzerinde kullanılabilmektedir. PV panellerin enerji tüketimine etkisi nedeniyle kullanımının artırılması önerilmektedir. Günümüzde, yapı tasarımları incelendiğinde, yapıların sınırlı çatı ve zemin alanına sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle cephelerde PV panel kullanımı daha elverişli sonuçlar oluşturabilmektedir (TÜBA, 2018).

Aktif güneş sistemleri içerisinde opak ve saydam cepheler üzerinden binaya uygulanan fotovoltaik sistemler (BAPV) paneller çalışma kapsamında incelenecektir.

2.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli

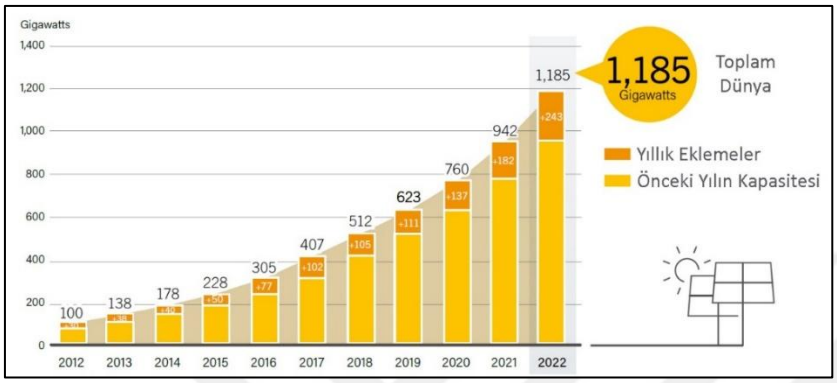
19. yüzyıl kömür, 20. yüzyıl fosil yakıtların, 21. yüzyıl ise güneş enerjisinin kullanım çağıdır. Güneş enerjisi kullanımının ön plana çıkmasının nedeni; öncelikle aşırı kullanım nedeniyle fosil yakıt rezervinin tükenmesi ve bu yakıtların tüketiminden kaynaklanan CO2 emisyonlarının iklim değişikliğinin ana sebebi olmasıdır. Tüm yenilenebilir enerji kaynakları, mevcut küresel enerji ihtiyacının 3078 katını sağlayabilir ve güneş enerjisi bu miktarın en yüksek kısmını oluşturur (Basnet, 2012). Büyük bir potansiyeli olmasına rağmen, güneş enerjisi küresel enerjide hala göz ardı edilebilir düzeydedir. Bu nedenle güneş enerjisinin etkin kullanımı, inşa edilecek çevreyi oluştururken mimarlar, mühendisler, düzenleyici makamlar ve müşteriler için temel düşünce olmalıdır.

Dünya atmosferine alınan ortalama güneş enerjisi miktarı yaklaşık 342 W m2'dir ve bunun yaklaşık %30'u uzaya geri yansıtılır, geriye kalan %70'lik kısmı (239 W m2) kullanılabilir. Yıllık etkin güneş ışınımı dünya çapında 60 ila 250 W m2 arasında değişmektedir. Dünya yüzeyi üzerindeki güneş radyasyonunun yıllık ortalama yoğunluğunu göstermektedir. Araştırmalar, "siyah nokta" alanlarının, %8 gibi düşük bir dönüşüm verimliliğine ulaşıldığı varsayıldığında, tüm dünyanın toplam birincil enerji talebinden daha fazlasını sağlayabileceğini göstermiştir (Kabir ve diğerleri, 2018).



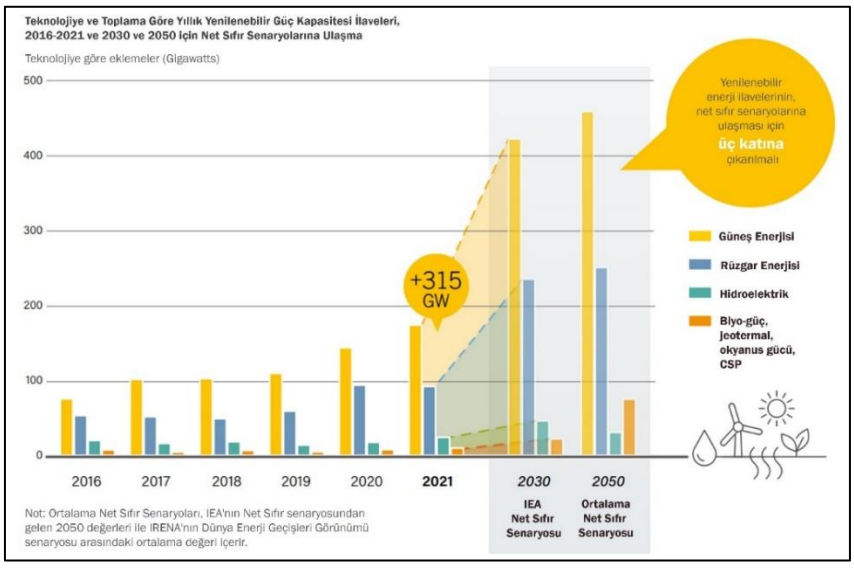
Şekil 2.2. Fotovoltaik (Pv) kurulum kapasitesi (IRENA, 2019)

2018 yılında küresel güneş enerjisi pazarına, dünyadaki güneş enerjisi kapasitesinin yarısından fazlasını oluşturan Asya hakim olmuştur. Bölgenin kurulu güneş enerjisi kapasitesi 2018 yılı sonunda 280 GW'a ulaşmıştır. Asya'nın, 2030 yılına kadar kurulu toplam kapasitenin %65'i ile küresel güneş PV kurumlarına liderlik etmeye devam edeceği tahmin edilmektedir (Şekil 2.2) (IRENA, 2019).



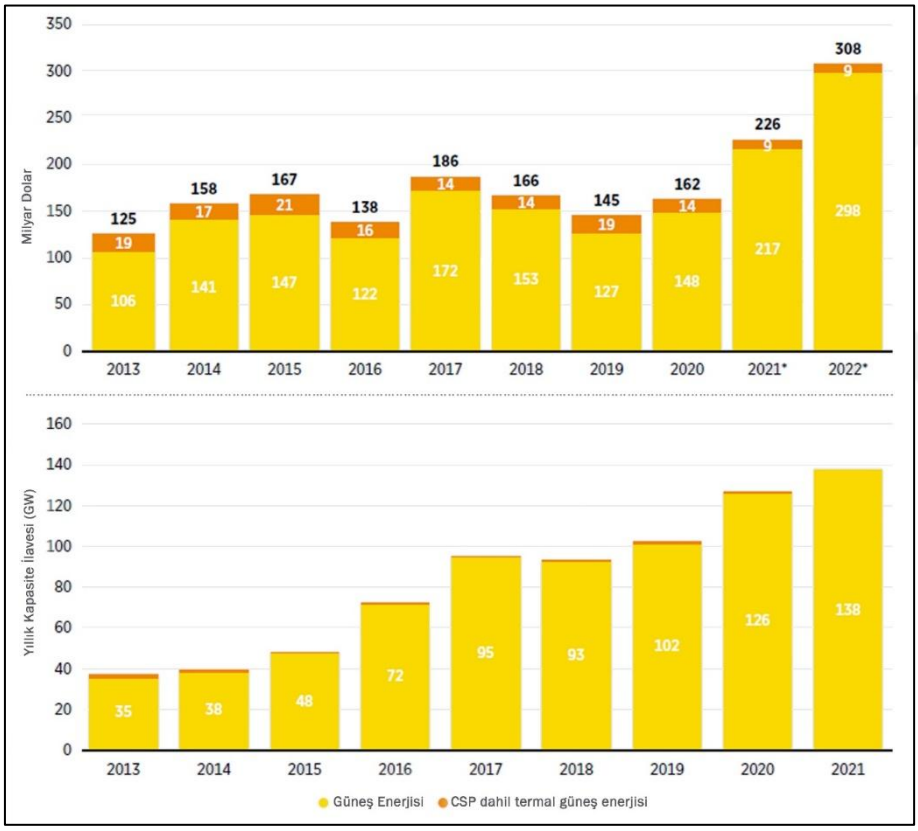
Şekil 2.3. Pv panellerin küresel kapasitesi ve yıllık ilaveler, 2011-2021 (REN21, 2023)

Fotovoltaik paneller, 2022 yılında yaklaşık 243 gigawatt yeni kurulum ile artışına devam etmektedir. 2021 yılına kıyasla artış 61 GW civarındadır. Bu durum önceki yıllara kıyasla en büyük yıllık kapasite artışıdır. 2022 yılında toplam PV kapasitesi 1.185 GW'a ulaşarak, 1 terawatt dönüm noktasını geçmiştir. 2022 yılında, hem hammadde kıtlıkları hem de artan maliyetler nedeniyle güneş tedarik zincirinde devam eden kesintilere rağmen rekor bir artış görülmüştür (Şekil 2.3) (REN21, 2022).



Şekil 2.4. Yenilenebilir güç kapasitesi (REN21,2022)

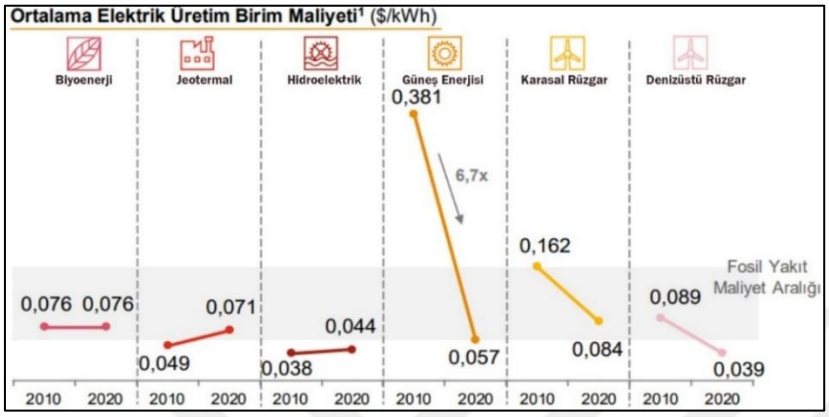
Yenilenebilir enerji kapasiteleri, güneş ve rüzgar enerjisi 2021'de %17 oranında artarak 314 GW'dan fazla kapasiteye ulaşmıştır. Dünya çapında toplam kurulu yenilenebilir enerji kapasitesi %11 artarak yaklaşık 3.146 GW'a ulaşmıştır. Ancak bu eğilimler, dünyayı 2050 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşma yolunda tutmak için gereken dağıtımdan uzaktır. IEA'nın net sıfır senaryosu tarafından 2050 yılına kadar belirlenen ortalama hedeflere ulaşmak için Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) Dünya Enerji Geçişlerine Genel Bakış senaryolarına göre, dünyanın 2050'ye kadar her yıl 825 GW yenilenebilir enerji eklenmesi gerekmektedir (Şekil 2.4) (REN21, 2022).



Şekil 2.5. Güneş enerjisi teknolojileri için yıllık yatırımlar ve kapasite ilaveleri, 2013-2022 (IRENA, 2023)

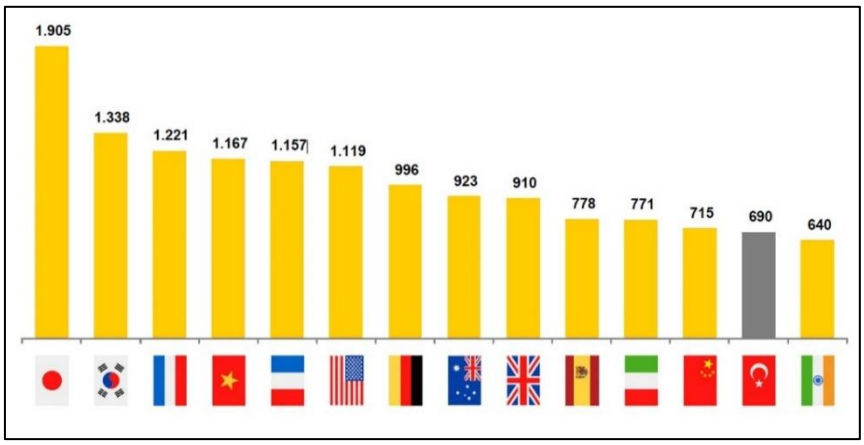
2020 yılında güneş enerjisi teknolojilerine yapılan yatırım, 2019'a göre %11 oranında artışla toplam 162 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. Bu artış 2017-2018 yıllarındaki ortalama yatırımın biraz altındadır. 2022 yılında 2021 yılına göre %36 oranında artış göstererek 308 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. Enerji sektöründeki kurulu kapasite açısından 2013-2021 döneminde küresel olarak 714 GW güneş enerjisi eklenmiştir. Kapasite ilaveleri her yıl ortalama %19 artmıştır (Şekil 2.5) (IRENA, 2023).

PV panel maliyetleri gelişen teknolojiler sayesinde giderek azalmaktadır. Ticari binalar için PV panel eklemenin artan maliyeti toplam maliyete göre %3'ten azdır. Projenin tasarım aşamasında PV panel eklenmesi gerekli altyapıların en başında düşünülmesi ile daha da azalmaktadır (NREL, 2020).



Şekil 2.6. Kaynaklara göre ortalama elektrik birim üretim maliyetinin değişimi (TMMOB, 2022)

Azalan maliyetler ve artan potansiyel enerji üretimi nedeniyle binaların enerji tüketiminin PV panel ile karşılanması avantajlı hale gelmektedir. Şekil 2.6. ile görüldüğü üzere 2010-2020 yılları arasında maliyetleri en hızlı düşen enerji sektörü %85'lik oran ile güneş enerjisi olmuştur. Hücre teknolojilerindeki gelişmeler ile %46 oranında modül maliyetleri azalmıştır. Rüzgar enerjisi de güneşe benzer bir düşüş yaşamış, işletme maliyetleri düşmüş ve yenilenebilir teknolojilerin maliyetleri giderek fosil yakıtların altına düşmeye başlamıştır (PWC, 2021) Teknolojinin gelişimi ile birlikte güneş enerjisinden elektrik üretimi ortalama maliyetini düşüren en önemli faktör panel fiyatlarındaki değişimdir (PWC, 2024).



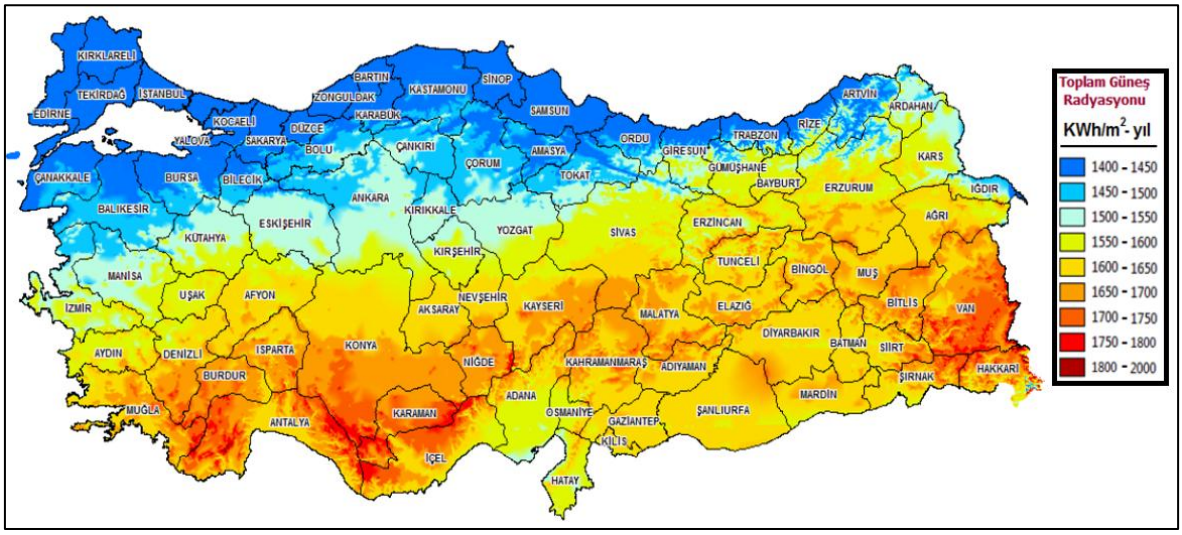
Şekil 2.7. Ülkelere göre bağlı güneş toplam kurulum maliyeti ($kw, 2022) (PWC, 2024)

Ülkelere göre şebekeye bağlı güneş toplam kurulum maliyeti, ekonomik ve politik değişkenler, ülkelerin sağladığı destekler, bina ve sanayi tipi uygulama alanlarındaki ekonomi faktörü, fosil yakıtların maliyeti, coğrafi şartlar gibi değişkenler nedeniyle farklılık göstermektedir. Rusya coğrafi şartların da etkisiyle en yüksek kurulum maliyetine sahiptir. Türkiye'de 2024 yılı güneş enerjisi maliyeti ortalama 390-410 $/kW'dir (Şekil 2.7) (URL 8) Türkiye'de GES toplam kurulum maliyeti 2016 – 2022 yılları arasında %61 düşüş göstermiştir (PWC, 2024).

2.1.1. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli

Ekvatorun 35˚ kuzey ve 35˚ güney enlemleri arasında güneş enerjisinden maksimum oranda fayda sağlanmaktadır. Türkiye coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisi potansiyeli açısından avantajlıdır (Şekil 2.8) Ülkemizin güneş enerjisinden yararlanma değeri, 1.527,46 kWh/m2 olarak hesaplanmıştır (GEPA, 2024)

Türkiye, diğer Avrupa ülkelerine göre yüksek enerji potansiyeline sahiptir. Ancak bu avantaj elektrik üretiminde yeterli miktarda kullanılamamaktadır. 2022 yılı verilerine göre Polonya, Türkiye'ye oranla düşük güneş potansiyeline sahip olmasına rağmen, güneş enerjisi kullanımında Türkiye'den sadece %0,2 daha az paya sahiptir (EMBER, 2023).



Şekil 2.8. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (GEPA, 2024)

Çizelge 2.1. Türkiye'nin bölgeler bazında toplam güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi (Kaya, 2022)

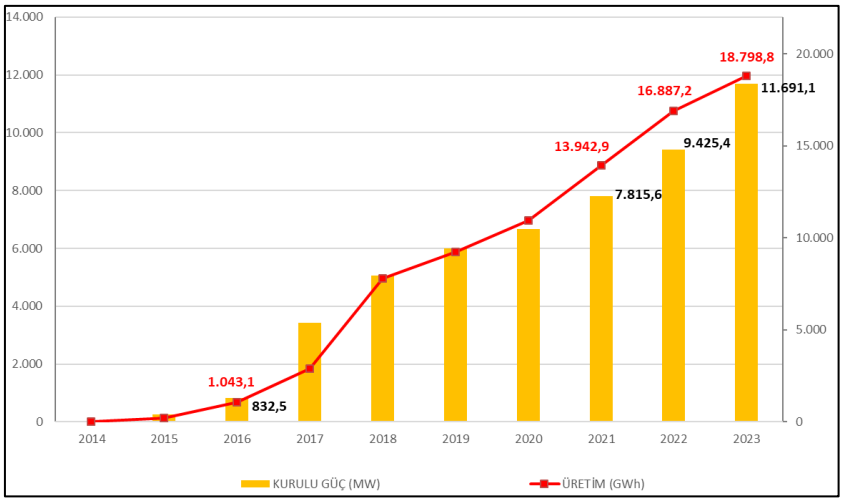
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m2y)	Güneşlenme Süresi (saat-yıl)
Güney Doğu Anadolu	1.648	2.845
Akdeniz	1.548	2.737
Doğu Anadolu	1.528	2.615
İç Anadolu	1.523	2.519
Ege	1.481	2.563
Marmara	1.329	2.250
Karadeniz	1.305	1.929

Türkiye'de Haziran ve Temmuz aylarında güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek seviyeleri görülmektedir. Bölgelere göre toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri Çizelge 2.1 ile verilmiştir. Şekil 2.8. ile Çizelge 2.1 arasında farklılıklar görülmektedir. Güneşlenme süresi en çok Güney Doğu Anadolu'da görülmekte iken en yüksek potansiyel Akdeniz bölgesinde bulunmaktadır.

Türkiye, enerji sektöründe 1990 yılında %52, 2000 yılında %67 2015 yılında %76 oranında dışa bağımlı haldedir. 2020 yılına kadarki son beş yıllık süreçte güneş, rüzgar ve jeotermal kaynakların kullanımındaki artış ile dışa bağımlılık oranını %70'e gerilemiştir. Enerji güvenliği için yerli enerji kullanımını artırmak gereklidir (TMMOB, 2022). Bu kapsamda yönetmeliklerde değişiklikler yapılarak enerji üretim hedefleri belirlenmektedir.

1 Ocak 2023 tarihinden itibaren toplam inşaat alanı 5.000 m2'den büyük olan parsellerdeki yapıların enerji tüketiminin en az %5'inin güneş enerjisi paneli, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması zorunlu hale gelmiştir. 1 Ocak 2025 tarihinden itibaren ise 2.000 m2 üzeri tüm binaların enerji tüketiminin en az %10'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması zorunlu olacaktır (Binalarda Yenilenebilir Enerji Zorunluluğu, 2022).

2021 Aralık ayı raporlarına göre Türkiye'de şebekeye bağlı güneş elektrik kurulu gücü 7.815,6 MWe, 2023 yılsonunda ise 11.691 MWe değerine ulaşmıştır. Fotovoltaik panellerden üretilen elektrik 2021 yılında 13.942,9 GWh ile ülke toplam elektrik üretiminin %4.2'sini oluşturmaktadır. 2023 yılı verilerine göre ise 18.798,8 GWh ile toplam elektrik üretiminin %5,8 'ini sağlamıştır (Şekil 2.9) (TMMOB, 2022).



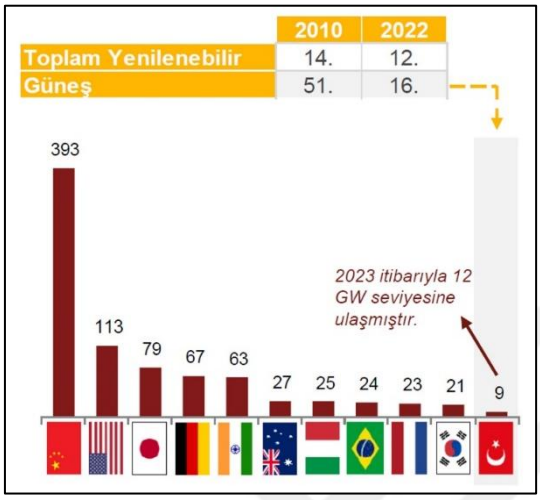
Şekil 2.9. Türkiye'de ges kurulu gücünün ve elektrik üretiminin yıllara göre gelişimi (TMMOB, 2022)

Türkiye'nin Ocak 2022 yılındaki elektrik üretimi kurulu gücü, 99.734 MW'a ulaşmıştır. 2021 yılında güneş enerjisinden elde edilen elektrik EPDK 2022 yılı raporuna göre 13.051,33 GWh olarak belirtilmiştir (TMMOB, 2022). TEİAŞ'ın 2022 aralık ayı verilerine göre güneş kurulu gücü 11.691,10 MW olarak belirtilmiştir. Lisanssız santraller, güneş enerjisi kurulu gücünde ülkemizde önemli bir paya sahiptir. Küçük ölçekli lisanssız elektrik üretimi, ülkemizde bir şebekeye bağlı olmadan, öncelikle öz tüketimini sağlayıp, ihtiyacının fazlasını şebekeye veren sistemler olarak tasarlanmıştır. Güneş santrallerinin 38'i lisanslı, 9.315'i lisanssız olmak üzere toplam 9.353 adettir (Şekil 2.9) (Kurulu Güç Raporları, 2023).

2022 yılı son verilerinden 2035 yılına kadar güneş enerjisi kapasitemizin 9,4 GW'ten yaklaşık 53 GW'a ulaşması hedeflenmektedir. Güneş enerjisi payının bu hedefe ulaşması için %4,7'den %16,5'e çıkması gerekmektedir. Son beş yılda 1,2 GW'lık yeni güneş santrali olan Türkiye'nin, hedeflerine ulaşması için kurulum hızını artırması gerekmektedir. Planlarda 2022-2025 yılları arasında güneş enerjisi artışının her yıl 2,8 GW, 2030-2035 yılları arasında 4 GW'a ulaşması hedeflenmektedir (EMBER, 2023)

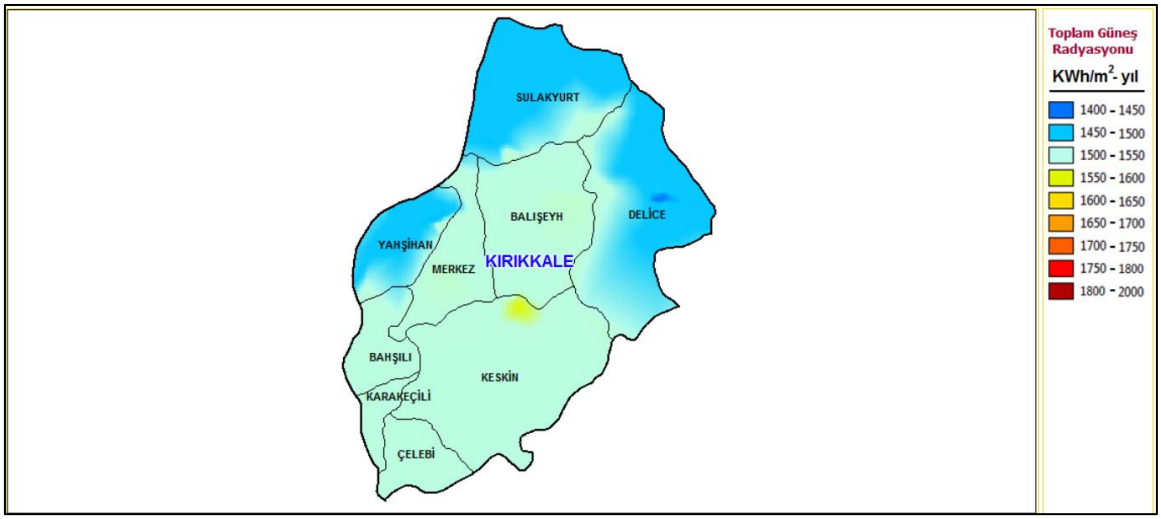
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2019-2023 Stratejik Planı'na göre %65 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik gücü elde edilmesi planlanmaktadır. 2023 yılında 10 GW güneş enerjisi toplam kurulu gücü hedeflenmektedir. Türkiye'nin çatılarında Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstri Derneği, GENSED'e göre 46.760 MW'lık fotovoltaik panel kurulumuna imkan sağlayan alan bulunmaktadır. Bu potansiyelin 23.240 MW'ı konutlarda, 21.460 MW'lık kısmı sanayi ve ticaret binalarında, 2.060 MW'lık kısmı

ise kamu bina çatılarında yer almaktadır. Ancak mevcut şebekemizin kapasitemiz 6.585 MW'lık potansiyelin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'ya göre, 2021-2026 yılları arasında dönem boyunca dünya sıralamasında Türkiye'nin güç artışının 10. sırada olacağı tahmin edilmektedir (TMMOB, 2022)

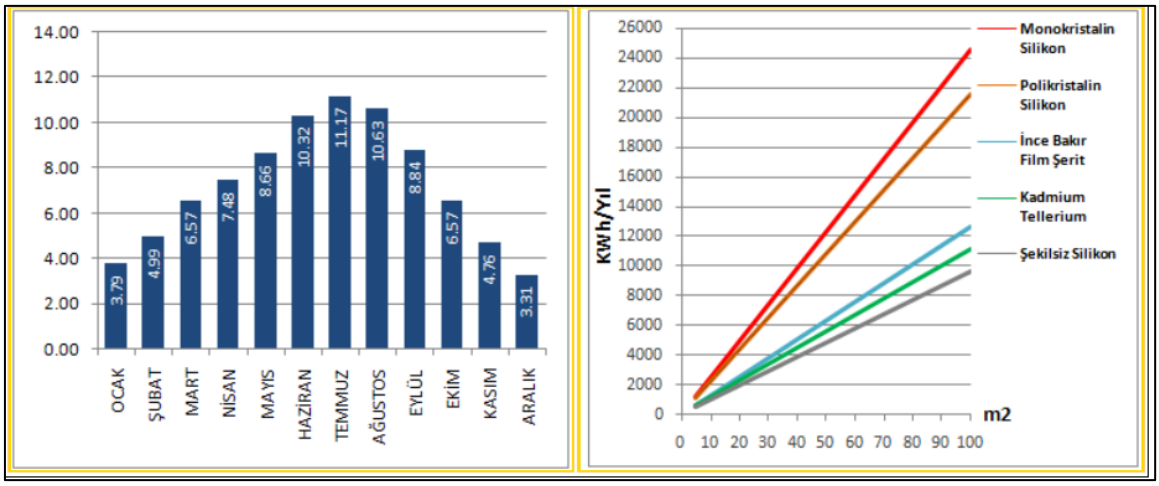


Şekil 2.10. Türkiye'nin kurulu gücü (gw) ve dünya sıralamasında yeri (PWC, 2024)

Türkiye, 2020 yılı raporlarına göre 16 sırada yer almaktadır (Şekil 2.10) Ayrıca Türkiye dünya ve gelişmekte olan ülkelere oranla geri planda kalmıştır. 2015 yılında sonraki gelişmeler neticesinde aradaki fark azalarak devam etmektedir (PWC, 2024)



Şekil 2.11. Kırıkkale'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2024)



Şekil 2.12. (a) Güneşlenme süreleri (saat) (b) PV tipi-alan-üretilebilecek enerji (kwh-yıl) (GEPA, 2024)

Çalışma kapsamındaki Kırıkkale iline ait güneş potansiyeli (Şekil 2.11)., güneşlenme süresi ve PV tipi (Şekil 2.12) üretilebilecek enerjiye dair veriler gösterilmiştir. Kırıkkale ili yıllık güneşlenme süresi 2.648 ve yılda 1.460 kWh/m2 güneş almaktadır (Ovuz, 2018). Kırıkkale için optimum eğim açısı 38° / 180° olarak tespit edilmiştir (81 İl İçin Önerilen Güneş Paneli Eğim Açısı, 2024)

Kırıkkale ili 39° 49′ kuzey enlemleri ve 33° 45′ doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Kırıkkale ilinin yüzölçümü 4.365 km²'dir. İç Anadolu Bölgesinde ve ılıman iklim kuşağında bulunmaktadır. Ancak denizden uzaklığı ve günlük sıcaklık farkının değişmesi nedeniyle iklim karasallaşmaktadır. Ortalama sıcaklık 12,5 ºC' dir. (Jeolojik Yapı, 2024)

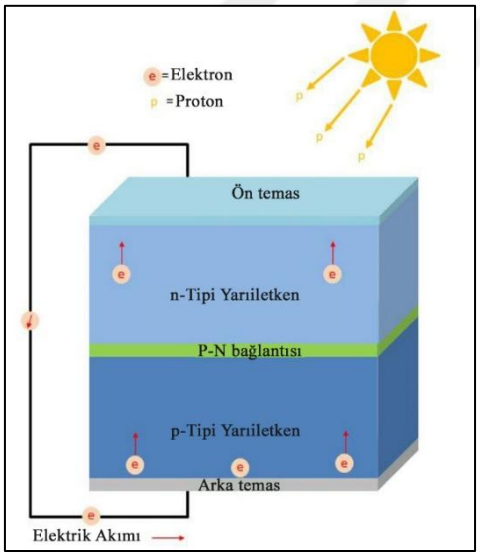
2.2. Fotovoltaik (PV) Sistemler

Fotovoltaikler (PV'ler), temel yapı taşı bir dizi güneş pili olan, güneş enerjisine maruz kaldıklarında uyarılan yarı iletken malzemelerden oluşan, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştüren sistemlerdir (Sadatifar, 2020).

Fotovoltaik kelimesinin terminolojisine bakıldığında iki kelimeden oluştuğu görülmektedir; "foto" kelimesi Yunanca'da ışık anlamına gelen "phos" kelimesinden türetilmiştir, "voltaik" ise elektrik ve güç öncüsü Alessandro Volta'nın isminden türetilmiştir (Altbaıshat, 2017).

Bir fotovoltaik sistem, PV modülünün yanı sıra bir invertör, depolama cihazları, şarj kontrolörü, sistem yapısı ve enerji ağını içeren sistem (BOS) bileşenlerinin dengesinden oluşur (IPCC, 2011).

Fotovoltaiklerin güneş ışığını elektriğe çevirme işlemi, ışığın yarı iletken adı verilen malzemelere çarpmasıyla meydana gelen fotovoltaik etkiye dayanmaktadır. Işık, enerji parçacıkları olan fotonlardan oluşur. Bu fotonlar, güneş spektrumunun farklı dalga boylarına karşılık gelen farklı enerjilere sahiptir. Fotonlar bir fotovoltaik hücreye çarptığında yansıtılabilir, emilebilir veya içinden geçebilirler. Sadece emilen fotonlar elektrik üretebilir. Bir foton emildiğinde, foton enerjisi hücrenin bir atomunun bir elektronuna aktarılır. Bir fotovoltaik panel tarafından üretilen elektrik doğru akımdadır. Yoğunluk ve voltaj parametreleri, hücreleri etkileyen güneş radyasyonuna ve ortam sıcaklığına göre değişir. Fotovoltaik güneş enerjisi ile üretilen elektrik, invertörler kullanılarak geleneksel şebeke elektriği ile aynı özelliklere sahip alternatif akıma dönüştürülebilir (Şekil 2.13) (Sadatifar, 2020).



Şekil 2.13. Tipik bir pv hücresinin farklı bileşenlerinin şeması (SADATIFAR, 2020)

1800'lerin sonlarında, güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviren bir cihaz keşfedilmiştir. Fotovoltaik (PV) hücre adı verilen bu cihaz, bir ısı motoruna olan ihtiyacı ele almamıştır. American Telephone and Telegraph'ın (AT&T) Bell Laboratuarlarında çalışan Russell Ohl'a atfedilen modern silikon güneş pili, 1940 civarında keşfedilmiştir (IPCC, 2011). 1954 yılında, ilk modern güneş pili Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Bell Laboratuvarları'nda

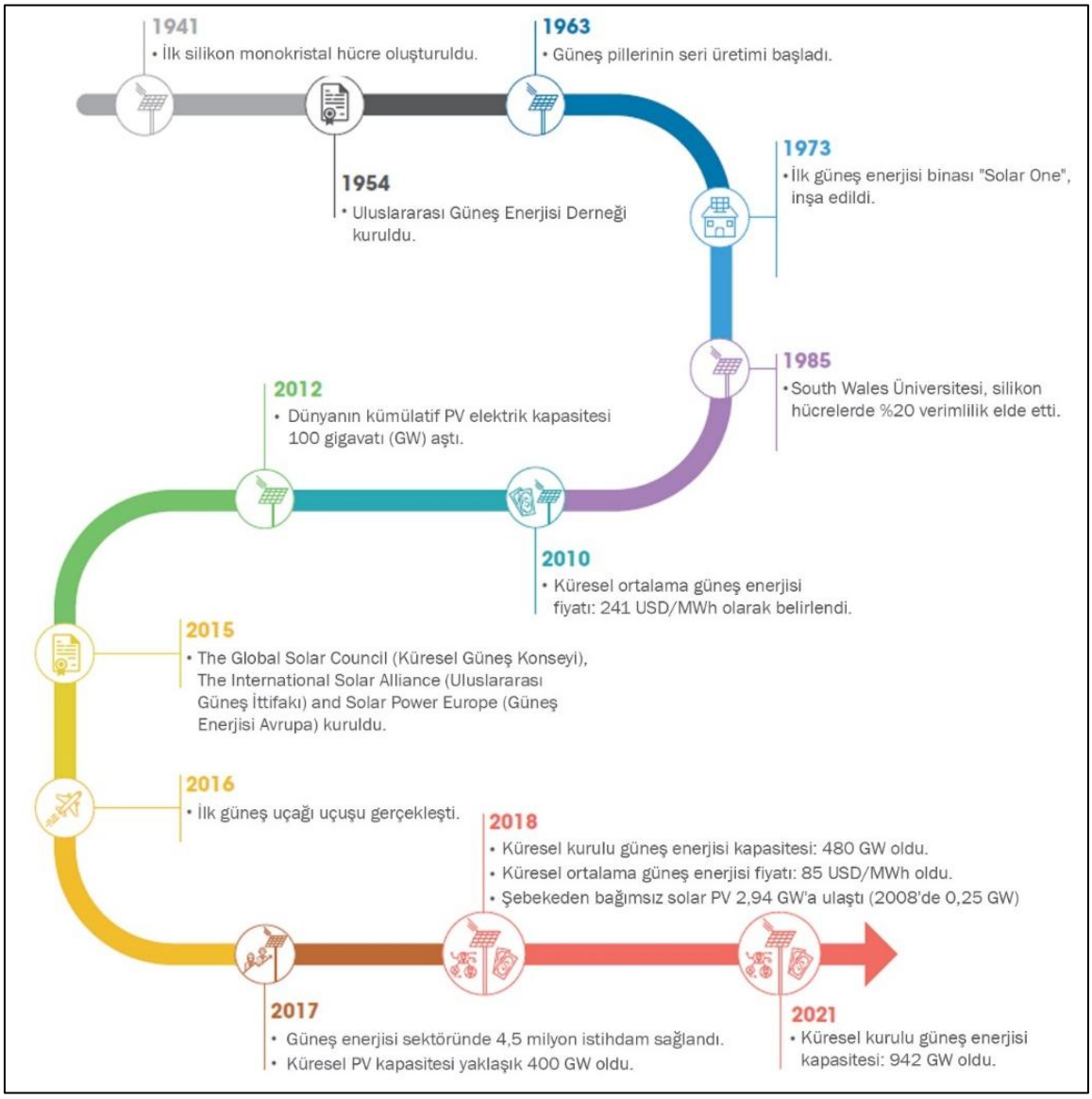
geliştirilmiştir. 1958 yılında güneş hücreleri bir ABD uydusuna yerleştirilmiştir (MITEI, 2015). Silisyum bazlı güneş pili, yaklaşık %6'lık bir güç dönüşüm verimliliği (PCE) gösterdi. 1985 yılında, kristalin silisyum (c-Si) güneş hücrelerinin PCE'si %20'yi aşmıştır. Bu durum, Yeni Güney Galler Üniversitesi'nde gösterildi. Baskıya girdiğimiz zamana kadar, en verimli yoğunlaştırıcı olmayan tek kavşaklı güneş pili, %29,1'lik rekor güç dönüşüm verimliliğine sahip olan ince film kristal galyum arsenit (GaAs) ile üretilmiştir. Ancak, GaAs pahalı bir malzemedir ve insanlar için kanserojendir. Bu nedenle, çoğunlukla uzay teknolojilerinde veya askeri uygulamalarda kullanılır. Günümüzde, c-Si güneş hücreleri PV pazarına hakimdir ve %90'dan fazla pazar payını temsil etmektedir. Bunlar arasında en verimli tip (konsantratörsüz ve tek bağlantı) %26,6'lık rekor bir güç dönüşüm verimliliğine sahip silikon tabanlı hetero bağlantı güneş hücresidir (Gao, 2019).

Güneş araştırmalarının modern çağı, 1950'lerde Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği'nin (ISES) kurulması ve birçok endüstride artan araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çabalarıyla başlamıştır. Örneğin, İsrail'de Miromit gibi şirketlerin güneş enerjili sıcak su ısıtıcısındaki ilerlemeleri ve Kudüs'teki Ulusal Fizik Laboratuvarı'ndaki Harry Tabor'un çabaları, 1960'ların başlarında İsrail'de evlere sıcak su sağlamak için güneş enerjisinin standart yöntem haline gelmesine yardımcı olmuştur. Yaklaşık aynı zamanda, ulusal ve uluslararası güneş ışınımı ölçüm ağları kurulmaya başlanmıştır. 1970'lerdeki petrol kriziyle birlikte, dünyadaki çoğu ülke güneş enerjisi Ar-Ge'si için programlar geliştirmiştir. Çoğunlukla bugüne kadar devam eden bu politika destek çabaları ile şu anda en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri olan güneş enerjisi, dünya enerji sahnesinde çok daha büyük bir rol oynamaktadır (IPCC, 2011).



Şekil 2.14. Mart 1973'te tamamlanan ve Karl W. Böer ekibi tarafından inşa edilen Newark, Delaware'deki solar one evi (HAGHİGHİ, 2022)

1970'lerin başında, fotovoltaik hücredeki teknolojik gelişmeler fiyatı watt başına 100 dolardan 20 dolara düşürmüştür. Bu düşüş, saatler, oyuncaklar ve radyolar için miliwatt'lardan enerji santralleri için megawatt'lara kadar farklı uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Petrol fiyatındaki büyük artışı da içeren 1973'teki ilk enerji krizi, PV'nin geliştirilmesine yönelik araştırmaları büyük ölçüde teşvik etmiştir. Aynı yıl, Delaware Üniversitesi, "SolarOne Evi" adlı Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ilk PV ile çalışan evi inşa etmiştir. SolarOne evindeki sistem, binaya kurulan ilk PV ve termal kollektör kombinasyonudur (Şekil 2.14) (Haghighi, 2022).



Şekil 2.15. Güneş enerjisi sektöründeki önemli gelişmeler (IRENA, 2019)

Fotovoltaik paneller öncü yenilenebilir teknolojilerden biridir. Son yıllarda kurulumlar, maliyetlerin düşürülmesi, teknolojik ilerlemeler ve önemli güneş enerjisi birliklerinin kurulması açısından PV endüstrisinin şimdiye kadarki gelişimi şekil 2.15. ile görülmektedir. Gelişmeler 1941 yılında ilk silikon monokristal hücrenin oluşturulmasıyla başlamaktadır (IRENA, 2019).

Fotovoltaik panel sektörünün bugüne kadarki evrimi dikkat çekici olmuş, son yıllarda kurulumlar (şebekeden bağımsız dahil), maliyet düşüşleri ve teknolojik ilerlemeler ile önemli güneş enerjisi derneklerinin kurulmuştur. 2023 sene sonu raporlarına göre küresel kurulu güneş enerjisi kapasitesi 1,6 terawat seviyesine ulaşmıştır (Güneş Enerjisi Küresel Piyasa Görünümü 2024 Raporu, 2024). Günümüzde, uygulaması megavat ölçeğindeki kamu hizmeti ölçeğindeki güç sektöründen tarım, inşaat, telekomünikasyon, havacılık, ulaştırma, güvenlik, askeriye ve diğer birçok endüstrideki kullanıma kadar değişmektedir. Bu kadar geniş bir uygulama yelpazesiyle, fotovoltaiklere olan talep her yıl artmaktadır (Haghighi, 2022).

PV teknolojisinin bazı avantajları ve dezavantajları şunlardır (Casillas, 2017);

Avantajları:

- Çevre dostu
- CO2 emisyonunun olmaması
- Gürültü ve hareketli parçasının olmaması (eğer izleme sistemi yoksa)
- Çalışmak için fosil yakıt kullanmaması
- Uzun ömür (25 yıl)
- Bulutlu günlerde çalışması
- Ölçeklenebilir olması (ihtiyaçlara göre boyutu değişebilir)
- Minimum bakım

Dezavantajları:

- Büyük ölçekli uygulamalar için geniş alana ihtiyacı olması
- Güneş yoksa elektrik üretiminin olmaması
- Yüksek ilk yatırım maliyetleri

- DC akımı ürettikleri için, invertörler gibi diğer güç elektroniği cihazlarının DC'den AC'ye geçerek çalışması
- Bağımsız sistemler için pillere ihtiyaç duyulması, bu durumun başlangıç maliyetlerini daha da artırması
- Bir izleme sistemi uygulanacaksa daha fazla yatırıma ihtiyaç duyulması

Bununla birlikte, vakaların çoğunda geri ödeme süresi (ilk yatırım maliyetlerini geri kazanmak için geçen süre) konumun ne kadar güneşli olduğuna bağlı olarak 5-8 yıl arasında değişmektedir. Bu, ortalama olarak, PV sisteminin sahibinin elektrik tüketimi açısından 17-20 yıllık ekonomik kar elde edeceği anlamına gelir (Casillas, 2017). Günümüzde, nihai güneş PV elektrik maliyeti birçok ülkede geleneksel elektrik fiyatlarıyla rekabet edebilmektedir. Ancak, dünyanın birçok yerinde bu hala hükümet teşviklerine bağlıdır. Bu kadar kısa bir zaman diliminde gerçekleşen tüm bu gelişmelerle, PV teknolojisinin sübvansiyonlardan bağımsız, kendi kendini idame ettiren alternatif bir enerji teknolojisi olarak tüketicilerin çoğunluğu için tamamen uygun fiyatlı ve erişilebilir hale gelmeye az kaldığı belirtilmektedir (Haghighi, 2022).

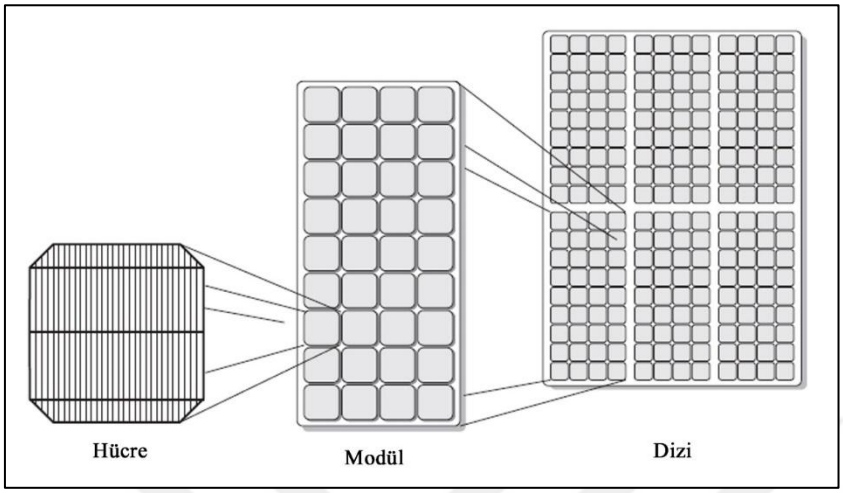
2.2.1. Fotovoltaik sistem bileşenleri

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek kullanıcılara sunan çeşitli bileşenlerden oluşur. Bu bileşenler; PV modüller, invertörler, şarj kontrol üniteleri, aküler ve diğer sistem bileşenleri bulunur (Casillas, 2017).

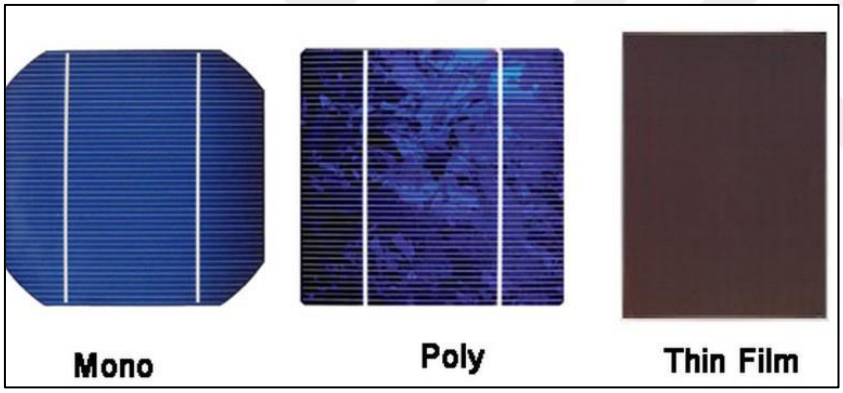
Pv modüller

PV hücreleri bir PV sistemindeki en küçük ana cihazlardır. Bu hücreleri birbirine bağlamak bir modül oluşturur ve modüller seri olarak bağlanırsa buna PV dizisi denir (Şekil 2.16). PV hücreleri, PV modülünün temel yapı taşı olarak kabul edilirler ve bu, sistemlerin her türlü amaca uyacak şekilde çok sayıda şekil ve formda oluşturulmasına yardımcı olur. Ancak, her bir modül güneşe bakan yüzeyde şeffaf bir tabaka ve modülün alt kısmında başka bir koruyucu tabaka ile kapsüllenmiştir ve farklı kapsülleme teknolojileri nedeniyle hücrelerin kalitesi ve performansı değişir (Altbaıshat, 2017). Farklı PV modülü türleri vardır ve bunlardan evlerde en yaygın kullanılanlar silikondan yapılmış polikristalin ve monokristalin

modüllerdir. Verimlilikleri üreticiye bağlı olarak %12'den %19'a kadar değişir (Şekil 2.17) (Casillas, 2017).



Şekil 2.16. Fotovoltaik hücreler, modüller ve diziler (Altbaishat, 2017)



Şekil 2.17. Üç ana pv hücresi türü (Casillas, 2017)

Tek kristalli silikon hücre- (Mono kristal Silikon Hücre)

Bu tip, diğer tekniklere kıyasla en eski, en pahalı ve en verimli olanıdır. Yüksek saflıkta silikon kristallerinden yapıldıkları için üretimleri çok miktarda saf silikon gerektirir. Silikon kristalleri 0,3 mm kalınlığında bir yonga haline getirilir. Silisyumun yeryüzünde en bol bulunan ikinci madde olan kumdan elde edildiği ve fotovoltaik hücre olarak kullanılabilmesi için son derece saflaştırılması gerektiği düşünüldüğünde, bu tipin diğerlerine kıyasla neden pahalı olduğu açıklanmaktadır Şekil ve görünüm açısından, genellikle monokristalin silikon modülleri, kaybedilen alanı azaltmak için kesilebilen dairesel bir şekle sahiptir, ancak yuvarlak şekillerini az çok korurlar, ayrıca renkleri siyah ve mavi arasındadır, yani

monokromdur. Daha renkli, daha az verimli tipleri de vardır. Bu modüllerin verimliliği yüksektir ve %17'ye kadar ulaşır (Şekil 2.17) (Güneş Elektrikli Fotovoltaik Modüller, 2024).

Çok kristalli silikon hücre- (polikristal silikon hücreler)

Polikristal modüller estetik olarak daha hoş, daha az verimli ve daha az üretim maliyeti gerektiren modüller olarak kabul edilir. Bu modüller de silikon malzemeden yapılmış olsa da, üretim süreci oldukça farklıdır. Tek bir sürekli kristalden kesilmek yerine, silikon atık malzemelerden çıkarılabilir ve bu da daha az üretim maliyetiyle sonuçlanır. Silikon vakumda ezilir, ısıtılır ve eritilir. Daha sonra bir kalıba dökülür ve bu, malzeme soğuduğunda modül içinde kristallerin kusurlu ve rastgele bir şekilde düzenlenmesiyle sonuçlanır. Sonuç olarak, bu süreç hücrenin yüzeyinde farklı mavi tonlarının oluşmasına yol açar ve böylece estetik olarak çekici bir hücre, "değerli taş" gibi görünecektir. Ayrıca, bu modüllerin boyutları genellikle eşittir, bu nedenle monte edildiğinde kaybedilecek daha az alan vardır. Verimlilik açısından, polikristalin modüller, maksimum %11 verimlilikle, monokristalin modüllere kıyasla daha az verimlidir (Şekil 2.17) (Altbaıshat, 2017).

İnce film tabaka yapılı hücreler- (thin film hücre)

Bu tip modüller daha az silikon malzemeye, daha az güç tüketimine ve dolayısıyla daha düşük maliyete ihtiyaç duyar, ancak ince film hücreleri daha az verimlidir. Bu modüllerin üretimi, saf silikon kristallerini yongalara kesmek için zaman, enerji veya malzeme israfını gerektirmez. Aksine, silikon yüksek sıcaklıklara maruz bırakılır ve daha sonra buharlaşmaya ve cam, paslanmaz çelik veya plastik cam üzerine biriktirilmeye bırakılır. Böylece ince film modülleri diğer hücrelere kıyasla daha esnek, daha ince ve daha hafif hale gelir. Ayrıca, çok çeşitli renkler üretilebilir. İnce film modüllerinin uygulanması kolaydır ve bazıları düşük ışık koşullarında daha iyi davranabilir. Sadece %8'lik bir verime sahip olduğundan, istenen enerji miktarını elde etmek için daha fazla hücre uygulanmasını gerektirir (Şekil 2.17) (Altbaıshat, 2017).

<u>İnverter</u>

Tüm evlerde AC gücüyle çalışan elektrikli ve elektronik cihazlar bulunur, bu nedenle PV modülünden gelen gücü (DC cinsinden) AC gücüne dönüştürmek için DC/AC

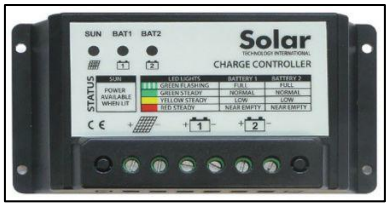
invertörlerinin kullanılması zorunludur (Şekil 2.18) Bu cihaz hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı sistem yapılandırmaları için kullanılır. Şebekeye bağlı sistemler için birçok invertör, PV dizisinde üretilen değişken voltajı gerçek DC-AC dönüştürücünün girişi olan sabit voltaja dönüştürmek için dahili bir DC-DC dönüştürücüye sahiptir. Bağımsız sistemlerde akülere bağlı bir invertör bulunabilir. Bu tür invertörlerin tasarımı şebekeye bağlı bir sistemden önemli ölçüde farklıdır. Şebekeden bağımsız invertörler, yükü PV dizisinde veya akü bankasında üretilen güçle besler ve yük koşullarından bağımsız olarak sabit bir frekans ve voltaj sağlar. Şekil 2.18. bir DC-AC invertörünü göstermektedir (Casillas, 2017).



Şekil 2.18. Dc-ac inverter (Casillas, 2017)

Şarj kontrol üniteleri

Şebeke dışı sistemlerde akünün şarj ve deşarjını kontrol etmek için kullanılır. Bu, akü bankasının aşırı şarj olmasını (gündüz) ve aşırı deşarj olmasını (gece) önler. Bir DC-DC dönüştürücü ve bir maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) ile sayılırlar, böylece PV voltajı ve PV akımı akü bankası voltajından ve akü bankası akımından bağımsızdır. Şekil 1.4, PV sistemleri için bir şarj kontrol cihazını göstermektedir. Her PV sisteminin yük talebi, hanenin yükünün ihtiyaçlarını karşılayan belirli bir şarj kontrol cihazı gerektirir. Aksi takdirde bu, arızalara ve kazalara yol açabilir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Şarj kontrol üniteleri (Casillas, 2017)

Akü

Bağımsız bir yapılandırma için en önemli bileşenlerden biridir. Gece ve zayıf güneş ışığı olan dönemlerde sisteme elektrik sağlar. Şekil 1.5, bir fotovoltaik sistem için bir akü bankasını göstermektedir. Deşarj Derinliği (DoD), akülerin etkili bir şekilde kullanılabileceği derinlik olduğundan, aküleri seçerken dikkate alınması gereken önemli bir husustur. DoD ne kadar düşükse, akü bankası kapasite gereksinimi o kadar yüksek olur. Öte yandan, akünün DoD'si ne kadar yüksekse, daha fazla deşarj edilebilir ve bu nedenle, aynı zamanda yatırım maliyetlerini azaltarak ihtiyaç duyulan akü bankası kapasitesini düşürebilir (Şekil 2.20) (Casillas, 2017).



Şekil 2.20. Akü (Casillas, 2017)

2.2.2. PV sistemlerin verimliliklerini etkileyen faktörler

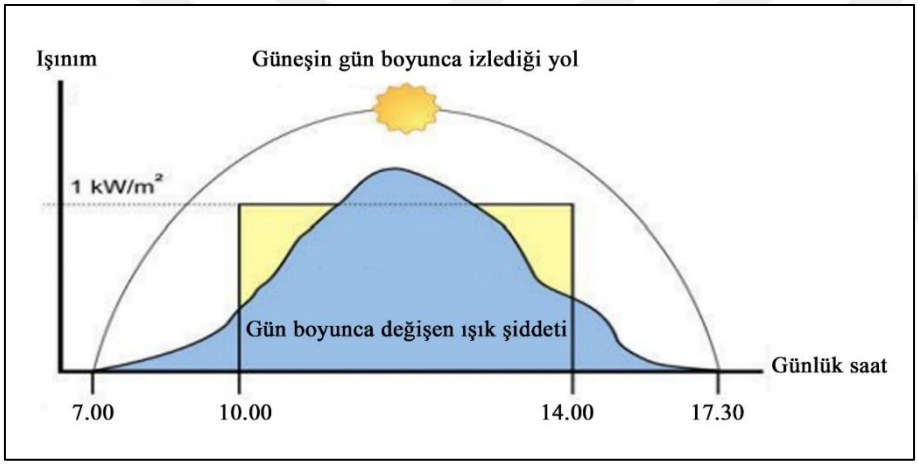
Binalara uygulanan PV panellerin enerji verimliliğini, farklı parametreler etkilemektedir. PV sistemlerinden maksimum verim elde edebilmek için, bu parametrelerin en uygun şekilde kullanılması gereklidir. PV verimliliğine etki eden parametreler; PV hücre tipleri, yönlendirme ve eğim, sıcaklık ve gölgelemedir (Dabbagh, 2015). Bu parametrelerden PV hücre tipleri önceki bölümde açıklanmıştır. Diğer parametreler aşağıda incelenecektir.

Yönlendirme ve eğim

Dünyanın dönüşü ve güneş etrafındaki hareketi nedeniyle, bir yüzeye düşen güneş radyasyonu miktarı her konumda değişir (Dabbagh, 2015). Yönelim, güneş panelinin baktığı yön olarak adlandırılmaktadır. Güneş dizisinin yönelimi diziye vuran güneş ışığı miktarını ve dolayısıyla dizinin üreteceği güç miktarını etkiler. Yön genellikle güneş modülünün baktığı yönü (yani tam güney) ve güneş panelinin tabanı ile yatay arasındaki açı olan eğim

açısını içerir. Diziye vuran güneş ışığı miktarı, güneşin gökyüzündeki hareketi nedeniyle günün saatlerine göre değişir (Bhatia, 2008).

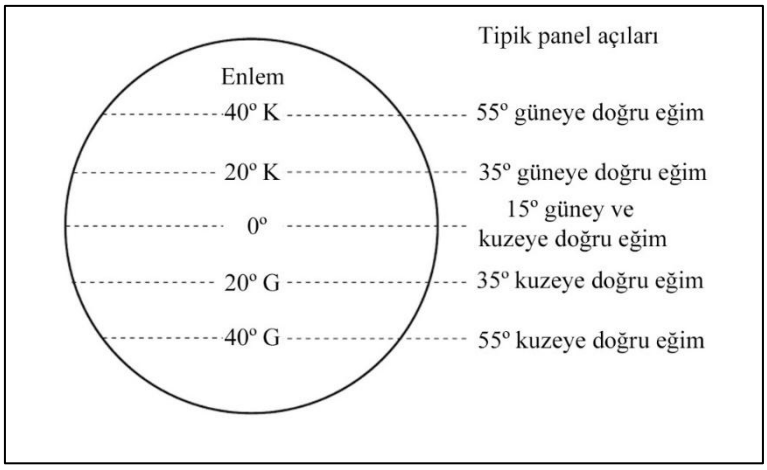
Güneş modülleri mümkün olduğunca fazla radyasyon toplayacak şekilde kurulmalıdır. İdeal olarak, ekvatorun kuzeyindeki PV kurulumları güneye doğru yönlendirildiğinde ve saha enleminden 15 derece daha yüksek bir açıyla eğildiğinde en iyi performansı gösterir. PV dizisi, panellerin güneye bakmasının zor olduğu bir binaya monte edilirse, doğuya veya batıya doğru yönlendirilebilir ancak kuzeye doğru yönlendirme önerilmemektedir. Çünkü bu durum verimliliği sınırlandıracaktır. Bir PV modülünün veya tepe gücünün en yüksek verimliliği, yüzeyi güneş ışınlarına dik olduğunda meydana gelir. Işınlar diklikten saptıkça, enerjinin giderek daha fazlası modüller tarafından emilmek yerine yansıtır (Bhatia, 2008).



Şekil 2.21. Gün boyunca değişen ışık şiddeti (Bhatia, 2008)

Çoğu PV sistemi sabit bir konuma monte edilir ve gün boyunca güneşi takip edemez. Gün boyunca güneşi doğudan batıya (tek eksenli izleyiciler) ve mevsimsel değişiklikler sırasında kuzeyden güneye (çift eksenli izleyiciler) takip etmek için izleyicilere PV modülleri takarak çıktıyı iyileştirmek mümkündür. Ancak bu durum ilk maliyeti artırdığından PV uygulaması için yaygın bir uygulama değildir (Şekil 2.21) (Bhatia, 2008).

PV'ler, bir yıl boyunca güneş enerjisinin çoğunu yakalamak için dizinin konumunun enlemine eşit olan güneşin ortalama yüksekliğine doğru eğilmelidir. Örneğin, yıl boyunca 25° enlemde kullanılan bir sistem, bir yıl boyunca maksimum elektrik miktarı için 15° ila 35° eğim açısına sahip olabilir (Şekil 2.22) (Bhatia, 2008).

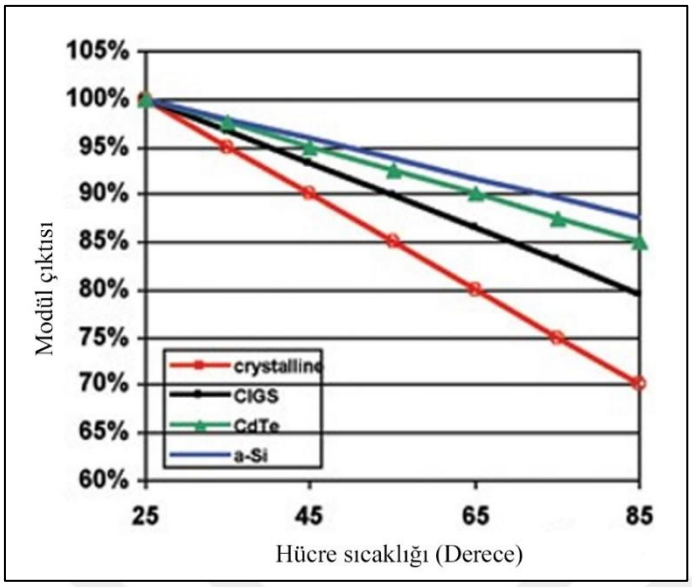


Şekil 2.22. Pv modülünün enleme göre eğimi (Casillas, 2017)

PV'ler, bir yıl boyunca güneş enerjisinin çoğunu yakalamak için dizinin konumunun enlemine eşit olan güneşin ortalama yüksekliğine doğru eğilmelidir. Ekvator boyunca Güneş, yıl boyunca konumunu 23º K'den 23º G'ye yer değiştirir. Bu nedenle, modüller en az güneşli aylarda (sonbahar ve kış) Güneş'e bakacak şekilde 5º-10º'lik ekstra bir eğimle monte edilir. Şekil , enleme göre bir eğim tahminini göstermektedir (Casillas, 2017).

Sıcaklık

PV hücreleri, güneş ışığının yaklaşık %20'sini elektriğe dönüştürürken, geri kalan %80'nini ısıya dönüştürür. Bu durum PV modüllerin sıcaklığını artırır. Sıcaklık artışı, PV hücrelerinin verimliliğini düşürür (Dabbagh, 2015). Pv verimliliği, hücre sıcaklığındaki her 25°C artış için yaklaşık %5 oranında azalır (Bhatia, 2008). Yüksek sıcaklık iç mekanlarda rahatsızlığa ve soğutma yükünün artmasına neden olabilir. PV hücrelerinin yüksek bir performans sunması için, modüllerin doğal ve mekanik havalandırma ile soğutulması gerekmektedir (Dabbagh, 2015).



Şekil 2.23. Fotovoltaik modülün performansı üzerindeki negatif güç sıcaklık katsayısının etkileri (Bhatia, 2008)

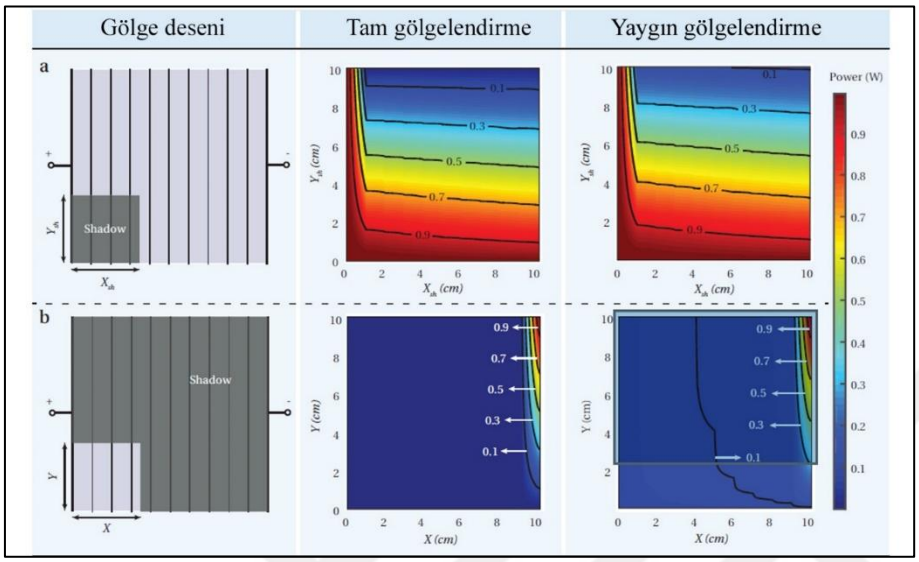
İnce film teknolojisi, kristal teknolojilere kıyasla daha düşük negatif sıcaklık katsayısına sahiptir. Başka bir deyişle, sıcaklık arttıkça kapasitelerinin daha azını kaybetme eğilimindedirler (Şekil 2.23) (Bhatia, 2008).

Gölgeleme

Gölgeleme, bir PV dizisindeki enerji kaybı için en önemli parametrelerden biri olabilir. 36 hücreli bir modülün bir hücresinin kısmi gölgelenmesi bile güç çıkışını önemli ölçüde azaltabilir. Olası gölgeleme kaynakları ağaçlar ve çalılar, komşu binalar ve modüllerin birden fazla sırasının kendi kendine gölgelemesi olabilir. Kışın öğle vakti gölgelenmesini önlemek için PV dizisi sıraları arasındaki minimum mesafeyi bulmak için hesaplamalar yapılması gerekir.

Genel kural, diziyi nesneden en az nesnenin yüksekliğinin iki katı uzaklıkta bir yere yerleştirmektir. Bu, nesnenin öğle vaktinin her iki tarafında 4 saat boyunca gölge oluşturmamasını sağlayacaktır. Daha düşük eğim açısıyla daha az gölgelenme olur ve alan daha iyi değerlendirilebilir. Ancak bu durumda, güneş verimi yıl boyunca düşer. Bu nedenle, genellikle 15° eğim açısı seçilir. İnce film PV modülleri, kristalin silikon PV modüllerine göre kısmi gölgelenmeye karşı daha dayanıklıdır (Bhatia, 2008).

Şekil ile PV modülünün verimliliği farklı gölge koşulları altında simule edilmiştir. Sonuçlar PV modülünün üzerine gölge düşmediğinde en iyi performansı gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Örnek mini bir PV modülü üzerinde yapılmıştır (Şekil 2.24) (Gao, 2019).



Şekil 2.24. Fotovoltaik kısmi gölgeleme etkilerinin simülasyon sonuçları (Gao, 2019)

2.2.3. Fotovoltaik panellerin binalardaki uygulamaları

PV teknolojisinin binalarda ve kentsel çevredeki uygulanmalarında, literatürde "entegrasyon" ve "entegre" kelimelerinin sık kullanıldığı dikkat çekmektedir (Haghighi, 2022). Aktif güneş sistemleri bina özelinde, binaya uygulanan fotovoltaik sistemler (BAPV), bina ile bütünleşik fotovoltaik sistemler (BIPV) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Binayla bütünleşik fotovoltaik (BIPV), binanın ayrılmaz bir parçası olup, çatı, pencere, atriyum ve gölgeleme elemanları gibi geleneksel yapı malzemelerini veya bina zarfını PV ile değiştiren veya yerine geçen bir sistemdir. Aynı zamanda enerji üretimini de bina içinde veya yakınında gerçekleştirmektedir. Cam üstü cam tip yarı saydam BIPV yapıları, iç mekana doğal ışık girmesine izin vermesi, güneş kazancını kontrol etme yeteneği ve içten dışarıya bir görüş sunması nedeniyle caziptir. Yarı saydam BIPV, özellikle geniş cam cephe mimarisi için de kullanışlı bir seçenektir.

Bina ilaveli veya uygulamalı fotovoltaik (BAPV) ise, herhangi bir yapı bileşenini değiştirmez; rafa monteli ya da standoff dizileri şeklinde uygulanabilir. Opak bir yapıya sahiptir ve yalnızca enerji üretimi için kullanılır. Çatı veya duvarı doğrudan güneş ısısından

gölgelendirerek ısı kazancını azaltır. BAPV sistemlerinin termal düzenlemesi, PV sistemleri ile bina kabuğu arasında mevcut boşluk nedeniyle BIPV'ye göre daha basittir. BIPV ve BAPV sistemlerinin karşılaştırılması Çizelge 2.2.'de belgelenmiştir (Ghosh, 2020).

Çizelge 2.2. BIPV ve BAPV sistemlerinin karşılaştırılması (Ghosh, 2020)

Özellik	Binaya Uygulanan/ Eklenen Fotovoltaik Sistemler(BIPV)	Binayla Bütünleşik Fotovoltaik Sistemler (BAPV)
Entegrasyon	Çatı veya cephe gibi bina yapılarıyla doğrudan entegre edilir.	Montaj donanımları ve çatı delikleri kullanılarak dolaylı entegrasyon yapılır.
Ağırlık	Hafif ve ağır modeller mevcut	Ağır yapıdadır.
Dayanıklılık	Dayanıklı	Kırılgan
Rüzgar Etkisi	Rüzgara karşı oldukça dirençlidir.	Kaldırma veya sürükleme etkisi olabilir.
Görsel Etki	Estetik açıdan hoş	Hantal bir görünüme sahiptir.

BIPV ve BAPV, her ikisi de yerinde temiz enerji üreterek iletim ve dağıtım kayıplarını azaltır. Hareketli parçaların olmaması sayesinde sessiz çalışır ve işletim sırasında tehlikeli bir madde yaymaz. BIPV, üçlü etki (triple-point effect) göstererek doğal aydınlatmayı korur, ısıl geçirgenliği kontrol eder ve elektrik üretir (Ghosh, 2020).

2.2.4. Eğitim yapılarında fotovoltaik panel kullanımı

Avrupa yasal çerçevesi kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen rol ve teşviklerin artması ile 2017 yılında güney AB ülkelerinde yenilenebilir enerji üretiminin %21.9'unu güneş enerjisi oluşturmaktadır. Bu durum güneş termal sistemlerinin ve fotovoltaiklerin ısıtma ve soğutma yüklerinin yanı sıra elektrik ve sıcak su tedariklerine doğrudan katkıda bulunmalarını gerektirmiştir ve binalarda güneş sistemlerinin önemini artırmıştır (Vassiliades ve diğerleri, 2019).

Binalarda enerji üretimi için güneş enerjisinden yararlanabilmesi amacıyla kullanılan aktif güneş sistemlerinin binalara entegrasyonu ön plana çıkmaktadır. Bu durum yerinde enerji üretimi yoluyla yapı sektöründen enerji ihtiyacının azaltılmasına etkin katkı sağlamaktadır (Hestnes, 1999). Aktif güneş sistemlerinin mevcut binaların kabuğunda kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyi kullanarak enerji tüketimini azaltmak için önemli bir fırsat sunmaktadır (Bougiatioti, ve diğerleri, 2015). Binaya entegre güneş aktif sistemlerinin binaların mimari tasarımdaki kilit rolü, özellikle yıllık güneş enerjisinin yüksek değerlerinin kaydedildiği ülkelerde giderek belirgin hale gelmektedir (Vassiliades ve

diğerleri, 2019). Güneş enerjisi, aktif veya pasif formlarda, binaların tüm enerji ihtiyaçlarını karşılayabilir, alan ısıtma, aydınlatma, soğutma ve sıcak su alanlarında kullanılabilir (Edelman ve diğerleri, 2012).

Binaların enerji performansı analizi yapılırken kullanılan teknolojiler “Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası” nda 12 başlık altında incelenmektedir:

1- Bina Yalıtım Sistemleri
2- Pencere Sistemleri
3- Mono ve Multi Split Klima Sistemleri
4- VRF Sistemleri
5- Klima Sistemleri
6- Sıcak Su Sistemleri
7- Aydınlatma Sistemleri
8- Bina Otomasyon ve Yönetim Sistemleri
9- Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemleri
10- Kojenerasyon/Trijenerasyon Sistemleri
11- Isı Pompaları
12- Fotovoltaik (PV) Sistemler

Çizelge 2.3. Binalarda ısı kayıpları ve kazançları ile bunların bina sistemlerine olan etkileri (ÇSB, 2020)

	Isı Kaybı/Kazancı Kaynakları	Isı Kaybı/Kazancı Olan Bina Elemanları	Etkilediği Sistem
Isı Kaybı	Bina cephelerinden kaynaklanan ısı kaybı	Duvarlardan olan ısı kaybı	Isı kayıpları azaldıkça; a) Konfor artar. b) Kazan kapasitesi, pompa kapasitesi, boru çapları, vana-pislik tutucu vb. boyutları küçülür. c) Enerji tüketimi azalır.
		Pencerelerden olan ısı kaybı	
		Çatıdan olan ısı kaybı	
		Zeminden olan ısı kaybı	
		Kapılardan ısı kaybı	
	Mekanik tesisat sistemlerinden kaynaklanan ısı kaybı	Kazan yüzeyleri, borular vb. kaynaklı ısı kaybı	Isı kayıpları azaldıkça ısıtma tesisatı küçülür, ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşer.
		Borulardan, vanalardan, eşanjörlerden olan ısı kaybı	
		Hava kanallarından, havalandırma ekipmanlarından olan ısı kaybı	
Isı Kazancı	Bina cephelerinden ve iç yüklerden kaynaklanan ısı kazancı	Duvarlardan olan ısı kazancı	Isı Kazançları azaldıkça; a) Konfor artar, b) Soğutma grubu kapasitesi, pompa kapasitesi, boru çapları, vana-pislik tutucu vb. boyutları küçülür, c) Enerji tüketimi azalır.
		Pencerelerden olan ısı kazancı	
		Çatıdan olan ısı kazancı	
		Zeminden olan ısı kazancı	
		Kapılardan ısı kazancı	
		İç ısı kazançları (insanlardan, aydınlatmadan, cihazlardan)	
	Mekanik tesisat sistemlerinden kaynaklanan ısı kazancı	Borularda, eşanjörlerde vanalarda vb. olan ısı kaybı	Bu elemanlardaki ısı kazançları azaltılırsa; a) Soğutma grubu, pompa kapasitesi küçülür, b) İlk yatırım ve işletme maliyetleri azalır.
		Hava kanallarından, havalandırma ekipmanlarından olan ısı kazançları	

Binalarda ısı yükleri hesaplanırken her mahal için ayrı ayrı ısı kayıp ve kazançları toplanarak toplam ısıtma ve soğutma yükleri tespit edilir. Bu hesaplar bilgisayar programları veya el ile hesaplanabilmektedir. Bilgisayar programları, daha karmaşık ve çok yönlü hesap yapabildiğinden daha gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca binanın yıllık enerji tüketimi farklı iklimlere göre hızlı bir şekilde hesaplanır. Bina cephelerinde saydam ve opak alan oranları, gölgeleme düzeyleri, mekanik ve elektrik sistemlerin iyileştirilme çalışmaları tasarlanabilir. Binalarda ısı kayıp ve kazançlarının kaynakları Çizelge 2.3. ile "Kamu Binalarının Enerji Verimli Yenilemesine Yönelik Rehber" de özetlenmiştir (Çizelge 2.3) (ÇSB, 2020).

Enerji yenileme çalışmaları binaların durumu, iklim gibi çeşitli parametrelere göre farklılık göstermektedir. Rehberde aynı zamanda İlk ve Orta Dereceli Okullar için bir öneri listesi verilmiştir (ÇSB, 2020);

- Eğitim binalarında ılıman iklimlerde doğal havalandırma ve soğuk iklimlerde ısı kazanımlı havalandırma cihazları kullanılarak iç hava kalitesi oluşturulması önemlidir.
- Eğer bina cephesinde ısı yalıtımı yoksa yalıtım yapılmalıdır.
- Pencerelerde parlamayı engellemek için camlara film, perde veya güneş kırıcı ile önlemler alınmalıdır.
- Gündüz aydınlatma yüklerine dair önlemler alınmalıdır.
- Cephe birleşim noktalarının sızdırmazlıkları tespit edilmeli ve iyileştirilmelidir.
- Koridor ve ıslak hacimlerde sensörlü armatürle, diğer alanlar ise LED armatür ile yenilenmelidir.
- Isıtılmayan mahaller ile ısıtılan mahalleri birbirinden ayırmak için ısı yalıtımı yapılmalıdır.
- Radyatörlere termostatik vana takılmalıdır.
- Su tüketiminin azaltılması için fotosel kontrollü sistemler eklenmelidir.
- Geri ödeme süreleri ve bütçe olanaklarına göre PV sistemler kurulup ısı kazancı sağlanmalıdır.

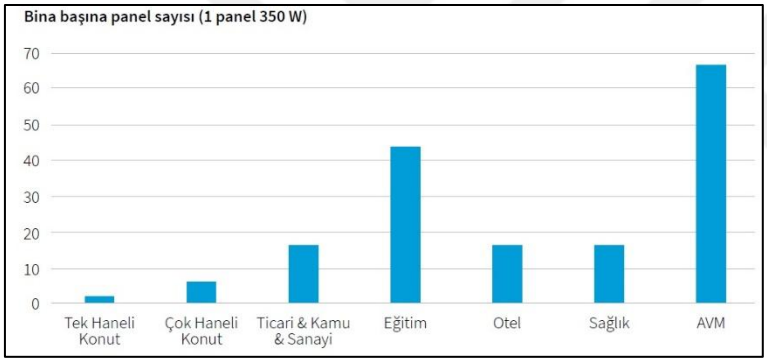
ABD Enerji Bakanlığı'nın (DOE) tahminine göre, eğitim kurumlarında enerji kullanımını azaltmaya yönelik çabalar, CO2 emisyonlarında %25'lik bir azalma sağlayabilir. Özellikle, bu girişimler yalnızca çevresel etki açısından değil, aynı zamanda öğrencilerin öğrenme yeteneklerini ve sınıflardaki refahını artırma konusunda da katkı sağlayacağı belirtilmiştir (Zhang ve diğerleri, 2017).

Türkiye’de eğitim yapılarının enerji tüketimi kamu yapıları arasında %15’tir (Bakkal, 2019). Milli Eğitim Bakanlığı’nın 2021-2022 istatistiklerine göre Türkiye’de 70.383 okul binası bulunmaktadır (Çizelge 2.4). Okul binalarının içerisinde ilkokul binaları 24.519 ile en fazla sayıya sahiptir. İlkokul binalarında bulunan öğrenci sayısı 5.433.901, öğretmen sayısı 310.477’dir (Şekil 2.25) (Millî Eğitim İstatistikleri Örgün Eğitim, 2021/’22).

Çizelge 2.4. Mevcut ve yeni toplam bina stoğu (ÇSB, 2021)

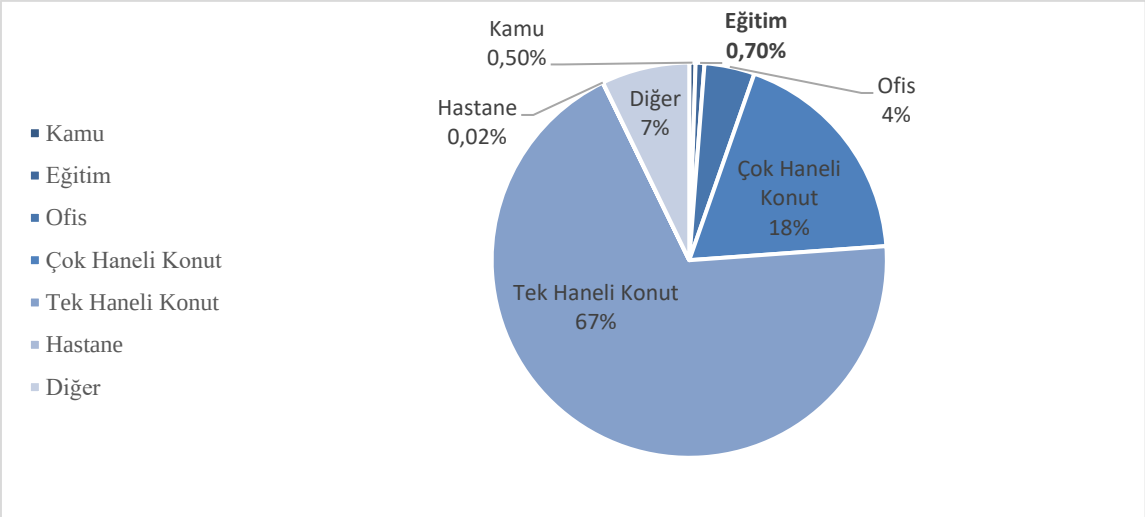
	Tek Haneli Konut	Çok Haneli Konut	Ofis	Eğitim	Kamu	Hastane	Diğer	GENEL TOPLAM
1. İklim Bölgesi	1,245,949	311,828	81,263	8,998	8,186	253	112,083	1,768,560
2. İklim Bölgesi	2,254,180	716,698	155,555	25,879	14,594	880	227,195	3,394,982
3. İklim Bölgesi	1,251,297	333,514	90,018	12,573	18,014	440	169,471	1,875,327
4. İklim Bölgesi	435,397	75,154	46,936	9,410	923	198	64,556	632,574
Genel Toplam	5,186,823	1,437,194	373,773	56,860	41,717	1,770	573,306	7,671,443

Teknik potansiyeller dikkate alındığında ve panel başına 350 W kapasite varsayıldığında, farklı çatı alanlarına sahip bina tiplerinde, bina başına gereken panel sayısı Şekil 2.26.'da gösterilmiştir. Bu verilere göre, AVM ve eğitim binaları geniş çatı alanları sayesinde diğer bina tiplerine kıyasla en az 2-3 kat daha fazla panel kapasitesine sahiptir (SHURA, 2020).



Şekil 2.25. Farklı bina tiplerinde bina başına panel miktarı (Shura, 2020)

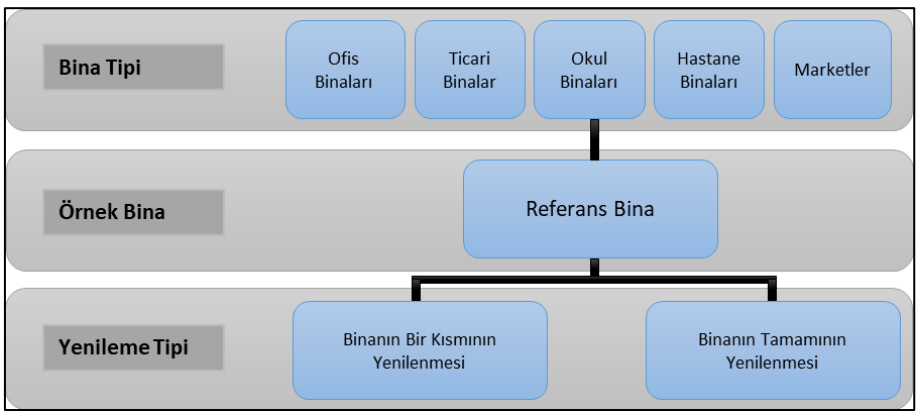
Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2018 yılında açıkladığı tüketim istatistiklerine göre Bina Sektöründe en yüksek enerji tüketim oranı %31'lik pay ile sanayi sektöründe olduğu, tekil olarak bakıldığında ise en yüksek tüketimin konut sektöründedir. Mevcut binaların sayıları ve değişimleri bina sektörleri için hedeflerin belirlenmesinde önemli bir araçtır. Yeni ve mevcut toplam bina stoğu durumu incelendiğinde eğitim binaları konut ve ofis binalarından sonra üçüncü sırada yer almaktadır (Şekil 2.26) Kullanılan verilerdeki bilgiler 2002-2017 arasındaki yapı kullanım izin belgeleri esas alınarak TÜİK istatistiklerinden elde edilmiştir (Şekil 2.27) (ÇSB, 2021).



Şekil 2.26. Mevcut ve yeni toplam bina stoğu oranları (ÇSB, 2021)

Yeni ve mevcut toplam bina stoğu durumu incelendiğinde Şekil 2.26.' da görüldüğü üzere eğitim binaları %0,7 gibi küçük bir değeri göstermektedir. Eğitim binaları inşa oranı düşük olmasına rağmen çok zaman geçirilen alanlar olması sebebiyle önem arz etmektedir.

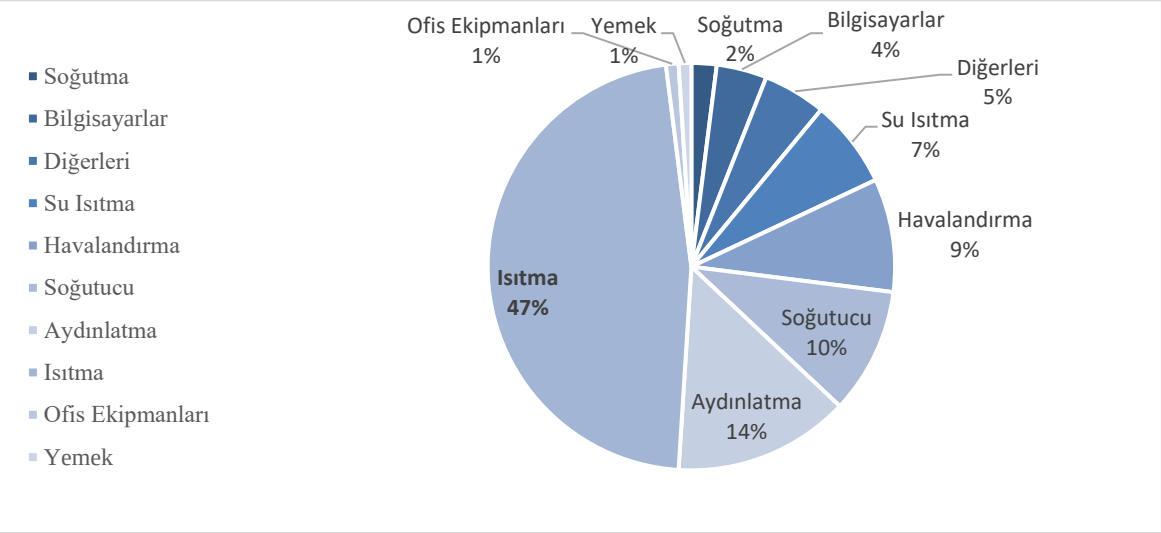
Okul binalarının enerji etkin yenilenmesi (retrofit), bir kısmını yenileme ve tamamını yenileme olarak iki ayrı şekilde gerçekleşmektedir. Yenileme çalışmaları projenin yaşam döngüsü sürecini artırabilmek, enerji tasarrufu sağlamak, işletme maliyetlerini azaltmak, öğrenciler ve çalışanlar için rahat bir ortam sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Şekil 2.27) (National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2013).



Şekil 2.27. Bina enerji yenilemesi (Nrel, 2013)

Yenileme çalışmalarında; işe başlamanın zorluğu, sınırlı sermaye ve kaynaklar için rekabet, projeler hakkındaki bilgi eksiklikleri, yenileme çalışmalarına yönelik tasarım yöntemlerinin eksikliği gibi nedenlerle projelerin gerçekleştirmesi zorlaşmaktadır (NREL, 2013).

Doğru tasarım yaklaşımıyla yapılan enerji iyileştirmeleri binaların yaklaşık %15 tasarruf edebileceğini göstermektedir. Okul projelerinde enerji dışı iyileştirmeler ile birlikte geri ödeme süresi yaklaşık 15 yıl olarak tespit edilmiştir. Enerji dışı iyileştirmeler hariç tutulursa, geri ödeme süresi yaklaşık 10 yıl olabilmektedir (NREL, 2013).



Şekil 2.28. Okulların ortalama enerji kullanım profili (NREL, 2013)

Enerji kullanımı seçilen okula ve iklim bölgesine göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Örneğin, sıcak ve kuru iklimlerde soğutma, toplam enerji tüketiminin %38'ini oluştururken, serin ve kuru iklime sahip kuzeydeki bir okul, soğutma için %21'ini tüketir. Genel olarak bakıldığında en fazla enerji tüketilen kısım ısıtma sistemi olarak görülmektedir (Şekil 2.28) (NREL, 2013).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Eğitim yapılarında fotovoltaik panel kullanımda yönelim, enerji, maliyet kriterleri üzerine ülkemizde ve dünyada pek çok akademik çalışma bulunmaktadır. Konuya ilişkin literatür taramasında 9 akademik çalışma incelenmiş; amaç, yöntem, kullandığı program, kriterler ve sonuçları hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

Reffat ve diğerleri, (2023), Çatı alanlarının sınırlı olması nedeniyle cepheler kullanılarak binalarda PV panel alanlarının artırılması amaçlanmıştır. Makale, güneşi enerjisi için konum, boyut, yönelim, PV alanları ve hareket seçenekleri dahil olmak üzere tasarım konfigürasyonlarının yenilenebilir enerji miktarını artırma üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Küçük, orta ve büyük olmak üzere üç PV uygulamasının tüm seviyelerini içeren vaka çalışmasının bina cephelerindeki 92 PV panel uygulama senaryosu için enerji simülasyonu yapmak üzere Rhinoceros eklentileri Grasshopper ve Ladybug'u kullanılmıştır. Enerji simülasyonundan elde edilen sonuçlar, üretilen en yüksek yenilenebilir enerji miktarının 417,68 kWh/m2 olduğunu ve doğu cephesindeki pencerelerde yatay eksen izleme PV kullanılarak elde edildiğini göstermiştir. Hareket edebilen PV kullanılarak, optimum eğim açısı, Kuzey, Güney, Doğu ve Batı cephelerinde sırasıyla %53, %39 ve %33 oranında yenilenebilir enerji miktarları elde edilmiştir.

Yoon ve diğerleri, (2021), Güney Kore'deki ilkokul binalarına, PV panel yerleşimi yapılmıştır. PV panellerinin enerji üretim verimliliği, enlem ve kurulum pozisyonu, açı ve gelen güneş ışınımı gibi önemli etkenler göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Ayrıca, her bir hedef ilkokul binası ve ilgili PV panel tasarımı üç boyutlu olarak görselleştirilmiştir. Böylece, güneş ışınımı ölçülmüş ve PV panellerinden elde edilebilecek potansiyel enerji, Insight yazılımı ile Revit yazılımı birleşik olarak kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir hedef ilkokul için en yüksek enerji üretim verimliliğine sahip bina cephesi, en uygun PV panel eğim açısına göre seçilmiş ve toplam enerji üretimi yıllık 307.734 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, Won-Hyo ilkokulunda (Seul) en yüksek enerji üretim verimliliklerinin sırasıyla güneydoğu ve güneybatı cephelerinde 17,73° ve 38,35° eğim açılarına karşılık geldiği gözlemlenmiştir.

Kaya (2022), Antalya ilinin iklim verileri kullanılarak bütünleşik tasarım yöntemleri ile bir ofis binası üzerinden senaryolar geliştirilmiştir. Düşey PV, eğimli PV, düşey dişli PV,

akerdeon PV üzerinden oluşturulan alternatifler senaryolar, optimum enerji verimine ulaşan cephe tiplerine göre belirlenmiştir. Enerji analizlerinin gerçekleştirilmesi için Design Builder ve EnergyPlus V.8.9.0. simülasyon aracı kullanılmıştır. Senaryolarda dikkate alınan nokta, prototipin tükettiği enerji ve üreteceği enerji olmuştur. Eğimli PV cephe sistemindeki prototipin ürettiği enerjinin, %104,22 olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, enerji tüketimleri dikkate alınarak, bütünleşik tasarım yöntemleri ile kullanılan aktif güneş sistemlerinin yapının ihtiyacından daha fazla elektrik üretebileceği tespit edilmiştir.

Yanardağ (2015), iklimsel konfor ve enerji korunumu sağlayabilmek için kullanılan güneş pili uygulamalarının, farklı bina formlarında enerji ve maliyet performanslarının belirlenmesini amaçlamıştır. 7 farklı bina formunun yıllık toplam enerjileri, farklı PV uygulamaları ve elde edilen kazançlar değerlendirilmiştir. İstanbul ili için hava sıcaklığı, güneş ışınım değerleri, gibi iklim verileri Design Builder programı aracılığı ile kullanılmıştır. Veriler doğrultusunda minimum yaşam dönemi maliyeti hesaplanmıştır. Güneş pilinin farklı çatı ve form uygulamalarındaki verimlerinin değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Bina formları arasında enerji yükü en düşük olanında en düşük yaşam dönemi maliyeti tespit edilmiştir. Sonuçta hangi bina formu ve güneş pili uygulamasının en verimli ve maliyet etkin olduğu belirlenmiştir.

Demir (2015), fotovoltaik sistemlerin mevcut binaların cephelerinde kullanımının panelin arkasında boşluk bırakılıp bırakılmaması ve yerleşim yönüne göre incelenmesini amaçlamıştır. Cephede kullanılan fotovoltaik panellerin performans değerlendirilmesinde kaynak tarama ve deney yöntemlerinden yararlanılmıştır. Deneysel çalışma ile farklı yönlerde (doğu, güney, batı), arkası boşluklu ve boşluksuz 6 senaryonun yaz ve kış aylarında ürettiği elektrik miktarları değerlendirilmiştir. Çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından BAP 37387 projesi ile desteklenmiştir. Eski bir binaya entegre edilen fotovoltaik sistemin değerlendirmesi yapılmıştır. Deney düzeneği kurulduktan itibaren yaklaşık bir yıl süre ile ölçüm yapılmıştır. Yönlere göre elektrik üretimi değerlendirildiğinde sonuçların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Boşluksuz yerleştirilen panellerin boşluklulara göre daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. Tüm değerlere bakıldığında yaz aylarında, doğu ve güney cephelerde boşluksuz paneller en verimli sonuçları vermektedir.

Ashmawy, Azmy (2017), bina yöneliminin enerji tüketim miktarı üzerindeki etkisi ele alınmaktadır. Ayrıca binalarda enerji tüketimini azaltmak için farklı stratejiler ve mimari

çözümler sunmaktadır. Makale, bina yöneliminin tüketilen enerji miktarı üzerindeki etkisine odaklanmaktadır. Yönelim, güneş ışınlarına maruz kalmayı, termal kazanımı, havalandırmayı ve aydınlatmayı etkileyen temel faktör olduğundan önemlidir. Yıllık, yaz ve kış aylarında enerji tüketimini tahmin etmek için "Energy-plus" programı kullanılmaktadır. Bina modelleri temel yönler (kuzey-güney-doğu-batı) dahil olmak üzere 15 derece değiştirilerek hesap edilmektedir. Güney cepheli bir binanın daha az enerji tükettiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, batı cephesi, güney cephesine göre %26 oranında daha yüksek yıllık enerji tüketimine neden olur. İki cepheli bir bina söz konusu olduğunda, en düşük enerji tüketimi Mısır Kahire'de kuzey ve güney yönleri arasında elde edilmektedir.

Custodio ve diğerleri, (2022), PV panellerin binaların enerji performansı, enerji üretimi, enerji verimi, performans oranı, ekonomik uygulanabilirliği ve estetik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Cephe ve çatılarda kullanılan PV panellerin simülasyonu için EnergyPlus, Rhino, PVsyst yazılımları kullanılmaktadır. 50 m × 25 m × 15 m boyutlarında 750 m2'lik beş katlı bir ticari bina modeline senaryolar uygulanmıştır. Çatı üstü PV sistemlerinin, cephelerde kullanılanlara göre daha yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Panicker ve diğerleri, (2023), bir kampüsteki konut binalarının enerji talebini karşılamak için entegre bir şebekeye bağlı çatı ve cephelerde binaya entegre fotovoltaik (BIPV) tasarlamayı ve fizibilitesini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada ilk olarak, bölgenin coğrafi, iklimsel ve arsa analizleri yapılmıştır. Ardından son 5 yıla ait üç aylık elektrik tüketim verileri elde edilmiştir. Mevcut proje için ideal olan bir PV sistemi, saha araştırması ve kapsamalı literatür çalışmasına dayanarak tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin performans değerlendirme parametreleri kullanılarak PVSyst yazılımında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Son olarak, tasarlanan PV sistemi performansı, incelenen binaların enerji talebi ile karşılaştırılmış ve Net ZEB potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma, az katlı konut binaları için cephe BIPV entegrasyonunun, aktif PV için kullanılan yüzey alanına dayalı olarak sistem enerji üretimini %62,5'e kadar artırdığını göstermektedir. PV üretiminde en fazla enerji açığı Haziran-Eylül aylarında görülmüştür.

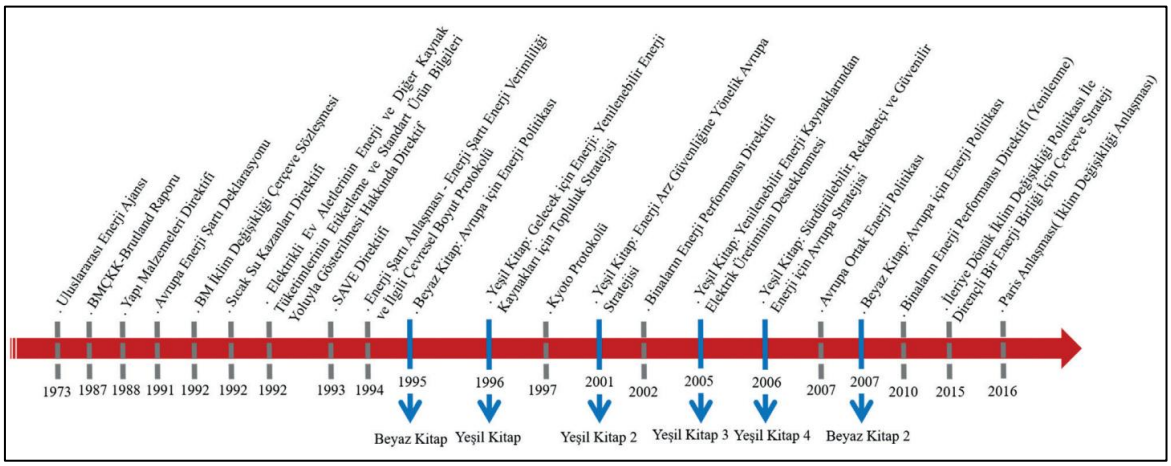
Duarte ve diğerleri, (2022), bina yöneliminin nZEB maliyet optimizasyonu üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ve Akdeniz ikliminde bulunan İspanyol üniversite binaları için uygun fiyatlı nZEB stratejisi belirlemeyi amaçlamaktadır. Mevcut çalışma, Malaga

Üniversitesi'ndeki benzer üç bina üzerinde bir vaka çalışması yürütmektedir. Sefaira Systems yazılımı ile enerji simülasyonu yapılmaktadır. Her bina için nZEB gereksinimlerini karşılayan uygun maliyetli stratejiyi belirlemek için altı senaryo önerilmiştir. Sonuç olarak en karlı stratejinin, incelenen binaların enerji tüketimini %85-93 oranında azaltarak verimliliği artırmaktadır. nZEB yenilemeleri için genel bir strateji tanımlanmış olmasına rağmen, bina yöneliminin enerji performansında belirleyici bir faktör olduğu kanıtlandı. Bu nedenle, uygun maliyetli reform stratejisinin her bir binaya özgü olduğu bulundu. PV panellerin vazgeçilmez olduğu ve binanın mevcut enerji tüketiminin %40-50'sini karşılayabildiği gösterilmiştir. Yazın soğutma yüklerini en aza indirgemek için sınıfları ve ofisleri güneye bakan cephelerden uzağa yerleştiren ve nZEB güçlendirmelerini daha düşük küresel maliyetler ve geri ödeme süreleri sağlayan en uygun yönlendirme olduğunu tespit edilmiştir.

4. EĞİTİM YAPILARINA YÖNELİK ENERJİ POLİTİKALARI

Türkiye'de binaların enerji tüketim oranı %34'tür. Bu kapsamda binaların inşası ve kullanımında büyük bir kısmı tüketilen enerjinin azaltılmasına yönelik çalışmaların önemi büyüktür. AB tarafından "Enerji Verimliliği Direktifi" nin 2012 yılı yayınında, kamuya ait binalar için yaklaşık %3 oranında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik öneri getirilmiştir. Ayrıca 2019 yılı itibariyle yeni inşa edilecek kamu binaları ve 2021 itibari ile tüm binaların yaklaşık sıfır enerjili bina özelliğine sahip olması hedefi getirilmiştir (Kamu Binalarının Enerji Verimli Yenilemesine Yönelik Rehber, 2020).

1973 yılında yayınlanan Uluslararası Enerji Ajansı ile mevzuatlarda yerini alan enerji kavramı Şekil 1'deki gibi gelişimini sürdürmüştür. Süreçteki önemli adımlardan biri Kyoto kentinde 1997 yılında OECD ülkelerinin de kabul ettiği Kyoto protokolüdür. İklim değişikliği ve küresel ısınmada insan etkisinin azaltılması bu protokol ile hedeflenmektedir. 2002 yılında yayınlanan "Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)" ile binalar için minimum enerji performansı standartları belirlenerek Kyoto protokolü aşamaları uygulamaya konulmuştur. Aynı zamanda bu direktif ile yeni kamu yapılarının 2018 yılı itibariyle, tüm yeni yapıların 2020 yılı itibari ile sıfır enerjili bina olması öngörülmüştür. EPDB 2010 yılında yeniden ele alınıp EPBD-Recast yayınlanmıştır. Şekil 4.1.'deki kronolojiye göre, EPDB-Recast ile enerji verimliliğine optimum maliyet ve yaklaşık sıfır enerjili bina kavramları eklenmiştir (Bakkal, 2019).



Şekil 4.1. Uluslararası enerji mevzuatlarının gelişim süreci (From Zero to Hero, 2021)

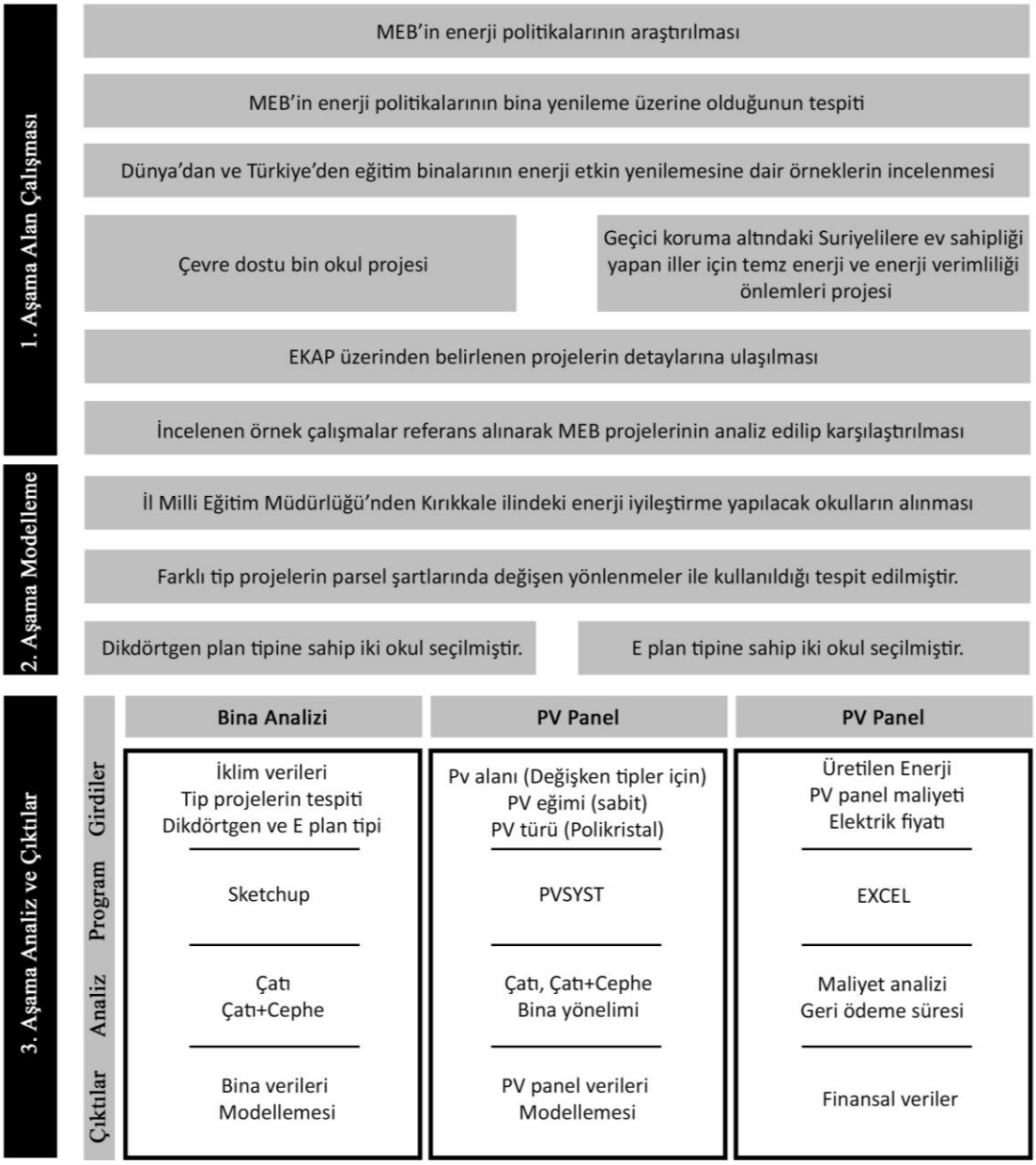
Türkiye'de 2007 yılında yayınlanan "Enerji Verimliliği Kanunu" ile, ilk kez bu konuda yasal düzenleme yapılmıştır. Binalarda enerji tüketiminin azaltılması için hazırlanan, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP) 2008 yılında yayınlanmıştır. Bu yönetmelik 2002 yılında Avrupa Birliği tarafından yayınlanan "Energy Performance of Building Directive (EPBD)" doğrultusunda oluşturulmuştur (Bakkal 2019). 2010 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan Türkiye İklim Değişikliği Strateji Belgesiyle iklim değişikliği ile ilgili alınacak tedbirler belirlenmiştir. 2017 yılında Milli Enerji ve Maden Politikası ile enerji verimliliğinin artırılması daha geniş ele alınmıştır. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ile enerji verimliliği ile ilgili yapılacak yatırımlar belirlenmiştir. En son yayınlanan Enerji Verimliliği Denetim Yönetmeliği ile konu ile ilgili denetim mekanizması oluşturulmuştur. Şekil 4.2.'de kamusal ve yasal düzenlemelerin kronolojik sıralaması verilmiştir (Kavaz, 2019).



Şekil 4.2. Türkiye'de enerji verimliliği konusunda yapılan kamusal ve yasal düzenlemeler (Kavaz, 2019)

5. YÖNTEM

Yeni eğitim binaları yapılırken Milli Eğitim Bakanlığı'nın tip projeleri kullanılmaktadır. Tip projelerin kullanımı maliyet ve zaman tasarrufu sağlarken, standartlaşma ve uygulama kolaylığı gibi faydalar sunar. Ancak yapılı çevre içerisinde bulunan arazilerin farklılık göstermesi, tip projelerin doğrudan kullanılmasında enerji etkin tasarımlar için her zaman iyi sonuç vermemektedir.



Şekil 5.1. Çalışmanın yöntem aşamaları

Çalışma kapsamında ilk olarak, MEB'in enerji politikalarına altlık olması amacıyla Dünya'dan ve Türkiye'den örnekler incelenmiştir. MEB'in politikalarında bina yenileme çalışmalarına öncelik verildiğinden örnek projeler bu kapsamda seçilmiştir. School of the Future, New Building Institute (NBI), Kamu Binalarında Enerji Verimliliği (KABEV) projelerinde konu ile ilgili çalışmalar olduğu tespit edilmiştir. Literatürden elde edilen veriler ışığında, eğitim binalarının yenilenme çalışmaları, Dünya'nın ve Türkiye'nin enerji politikalarına dair çalışmaların olduğu görülmüştür. Ancak MEB'in bu konudaki çalışmaları hakkında araştırma boşluğu tespit edilmiş ve bu konu üzerine odaklanılmıştır (Şekil 5.1).

5.1. Dünya ve Türkiye'deki Eğitim Yapılarının Enerji Etkin Yenileme Çalışmaları

Çalışma kapsamında öncelikle MEB'in enerji politikaları araştırılmıştır. "Çevre Dostu Bin Okul Projesi" ile "Geçici Koruma Altındaki Suriyelilere Ev Sahipliği Yapan İller İçin Temiz Enerji ve Enerji Verimliliği Önlemleri Projesi" adı altında iki proje olduğu tespit edilmiştir. Projelerin Eğitim binalarının enerji etkin yenilenmesi üzerine olduğu görülmüştür. Bu kapsamda öncelikle Dünya'dan ve Türkiye'deki örnekler incelenerek başka projeler ile ilgili araştırma yapılmıştır. School of the Future, New Building Institute (NBI), Kamu Binalarında Enerji Verimliliği (KABEV) projelerine dair örnekler incelenmiştir. Örneklerinin incelenmesinin ardından MEB'in yapmış olduğu projelere ait detaylara EKAP üzerinden erişilmiştir. İncelenen örnek projeler referans alınarak oluşturulan başlıklar altında MEB'in projeleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın yöntemi, iz sürme tekniği kullanılarak Milli Eğitim Bakanlığı'nın iki ayrı projesinin karşılaştırmalı analizinden oluşmaktadır. Çalışmanın amacı, Milli Eğitim Bakanlığının enerji politikaları bağlamında, mimari projelerde uyguladığı yenilikleri analiz etmektir.

AB'nin eğitim binalarının enerji dönüşümüne ilişkin 7. Çerçeve Programı kapsamında finansman alan "School of the Future" projesi mevcut okul binalarının enerji ve çevresel verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda farklı iklimlere sahip 4 Avrupa ülkesinden 4 tanıtım binasının hem enerji hem de iç ortam performansı, bina kabuğunun bütünsel olarak yenilenmesi, hizmet sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bina yönetim sistemlerinin entegrasyonuna yönelik çalışmalar yapmıştır. Sıfır emisyonlu okulların ulusal örneklerinden elde edilen sonuçlar, kılavuzlar, bilgi araçları, yayınlar ve EU

BUILD UP portalında çıktılar ile ilgili bilgileri paylaşmaktadır (Erhorn-Kluttig ve diğerleri, 2014)

New Building Institute (NBI), enerji verimliliğinin artırılması ve yapılı çevreyi karbondan arındırmayı hedefleyen, kamu politikaları ve programlarını teşvik eden bağımsız bir kaynaktır. Karbon içermeyen, sürdürülebilir bir yapılı çevre oluşturmayı hedeflemektedir. Sıfır enerji hedeflerine ulaşmaya uygun yenileme projelerini oluşturmaktadır (EKAP İhale Arama, 2024)

Türkiye'nin; Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, İklim Değişikliği Stratejisi, 2053 Karbon Nötr Hedefi, Yeşil Mutabakat Eylem Planı ve taraf olduğu; Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, Paris İklim Anlaşması gibi belgelerdeki hedefleri yerine getirebilmek adına Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Dünya Bankası ile Kamu Binalarında Enerji Verimliliği (KABEV) projesi ile danışmanlık ve inşaat hizmetleri için kredi ve hibe anlaşması yapmıştır. Proje kapsamında 500-700 kamu binasının enerji etkin yenileme hedefi bulunmaktadır. Rehber içerisinde “Kampüsler, Üniversiteler, İlkokullar ve Orta Dereceli Okullar” başlığı altında örnekler ile enerji verimliliğinin eğitim binalarında azaltılmasına yönelik öneriler getirilmiştir.

Çizelge 5.1. School of the future projesi (BUILD UP)

	School of the Future - BUILD UP			
Bina Adı	Solitude Gymnasium School *Almanya*	Tito Maccio Plauto School *İtalya*	Hedegaards School *Danimarka*	Brandengen School *Norveç*
Yenileme Öncesi				
Yenileme Sonrası				
İnşaat Yılı	1966 - 1975	1960	1972	1914
Yenileme Yılı	2012 - 2014	2011 - 2014	2011 - 2014	2011 - 2013
Proje Alanı	8 924 m²	6 027 m²	3 850 m²	7 079 m²
Pencereler	Ara Boşluklu Üçlü Cam	Argon Dolgulu Çift Camlı PVC	Ara Boşluklu Üçlü Cam	Ara Boşluklu Üçlü Cam
Dış Cephe Yalıtımı	Polistiren Köpük (14 ila 18 cm)	Mineral Yün (12 cm)	Mineral Yün (33 cm)	-
Çatı Yalıtımı	EPS (14 ila 16 cm)	Mineral Yün (20 cm)	Mineral Yün (25 cm)	Mineral Yün (30 cm)
Isıtma Sitemi	Gaz kazanları kojenerasyon ünitesi (CHP) ile birleştirilmiştir. Isı dağıtım borularının ısı yalıtımı iyileştirilmiştir.	Üç yeni gaz yoğuşmalı kazan kurulmuştur. Verimli elektronik pompalar eklenmiştir.	Bölgesel ısıtma kaynağına bağlantı sağlanmıştır.	19 jeotermal ısı borusuna sahip 200 kW'lık bir ısı pompası sistemi, iki akaryakıt yakıtlı kazan ve bir elektrikli su ısıtıcısından eklenmiştir.
Havalandırma Sistemi	Merkezi havalandırma sistemi kurulmuştur. Konferans Salonuna, kolay havalandırma amacıyla otomatik pencereler eklenmiştir.	23 dersliğe hizmet verecek ısı geri kazanım oranı %77 ile %80 arasında olan 5 bağımsız mekanik havalandırma sistemi kurulmuştur.	-	-
Aydınlatma Sistemi	T5 floresan lambalar eklenmiştir. Elektronik balastlar eklenmiştir. Merdiven boşluğuna sensörlü aydınlatma sistemi kurulmuştur.	-	İki sınıfa LED aydınlatma eklenmiştir. Koridorlar, gün ışığına bağlı iki sıra LED aydınlatmayla donatılmıştır.	-
PV Panel	Toplam 7,5 kWp kapasiteli 50 m² fotovoltaik modüller yerleştirilmiştir.	64,7 kWp toplam kapasiteye sahip 250 m² monokristal fotovoltaik modüllerden oluşan bir PV tesisi monte edilmiştir.	Toplam 22.5 kWp kapasiteli 152 m² fotovoltaik modüller yerleştirilmiştir.	PV panel kullanılmamıştır. Hidroelektrik enerjinin Norveç'te üretilen elektriğin neredeyse %100'ünü oluşturduğu unutulmamalıdır.
Enerji Tasarrufu	66%	83%	57%	66%

Çizelge 5.2. New building institute (NBI)

	New Building Institute (NBI)		
Bina Adı	Garden Grove School *Amerika*	Los Osos Middle School *Amerika*	Newcastle Elementary School *Amerika*
Yenileme Öncesi			
Yenileme Sonrası			
İnşaat Yılı	1961	1977	1950
Yenileme Yılı	2017	2017	2017
Proje Alanı	-	-	-
Pencereler	Değişim yapılmıştır.	-	-
Dış Cephe Yalıtımı	-	-	-
Çatı Yalıtımı	Çatı yalıtımı değiştirilerekdeğeri R-30'a yükselmiştir. Güneş yansıtma indeksi (SRI) 112 olan yansıtıcı bir yüzey eklenmiştir.	-	-
Isıtma Sitemi	-	%92 termal verimliliğe sahip duvara monte yoğuşmalı su ısıtıcıları eklenmiştir. Spor salonu duş kazanı, %95 verimli, üniteyle değiştirildi.	-
Havalandırma Sistemi	HVAC sistemleri, diferansiyel kuru termometre ekonomizeri ile iyileştirilmiş ısıtma verimliliği (%82) ile daha yüksek performanslı bir DX Soğutmaya yükseltilmiştir.	Sınıflara havalandırma sistemi eklenmiştir.	Eskiyen sistemlerin yerine iki tip HVAC ünitesi kurulmuştur. yüksek verimli Trane çatı ünitesi kurulmuştur.
Aydınlatma Sistemi	LED armatürler eklenmiştir. Doğal ışığı teşvik etmek için entegre gün ışığı kontrolüne sahip iki ila üç boru şeklinde tavan penceresi eklenmiştir.	LED armatürler eklenmiştir. Koridorlara hareket sensörlü aydınlatmalar eklenmiştir.	LED armatürler eklenmiştir. Koridorlara hareket sensörlü aydınlatmalar eklendi.
PV Panel	Toplam 113 kWp kapasiteli fotovoltaik panel yerleştirilmiştir.	Toplam 200 kWp kapasiteli fotovoltaik panel yerleştirilmiştir.	Toplam 108 kWp kapasiteli fotovoltaik panel yerleştirilmiştir. Okul bölgesi, elektriğinin tamamı Pv paneller ile karşılanmaktadır.
Enerji Tasarrufu	-	-	-

Çizelge 5.3. Kamu binalarında enerji verimliliği projesi (KABEV)

	Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi (KABEV)	
Bina Adı	Ortaköy 80. Yıl Meslek ve Teknik Lisesi *Ankara*	Bursa Kız Anadolu Lisesi *Bursa*
Yenileme Öncesi		
Yenileme Sonrası		
İnşaat Yılı	2004	1940-1980
Yenileme Yılı	2020	2020
Proje Alanı	13 825 m2	10 285 m2
Pencereler	Değişim yapılmıştır.	Değişim yapılmıştır.
Dış Cephe Yalıtımı	Taşyünü (12 cm)	Taşyünü (10 cm)
Çatı Yalıtımı	-	Taşyünü (10 cm)
Isıtma Sitemi	Mevcut ısıtma kazanları ve brülörler daha verimli ısıtma kazanları ile değiştirilmiştir. Yalıtımsız vana vb. ekipmanlara yalıtım uygulaması yapılmıştır.	Kazanlar yeni ve verimli 4 x 90 kW duvar tipi doğalgazlı kaskad yoğuşmalı kombi ile değiştirilmiştir. Radyatörler yeni panel radyatörlerle değiştirilmiştir.
Havalandırma Sistemi	-	-
Aydınlatma Sistemi	Armatürler aydınlatma seviyelerine uygun LED armatürlerle değiştirilmiştir.	Armatürler aydınlatma seviyelerine uygun LED armatürlerle değiştirilmiştir.
PV Panel	Toplam 50 kWp kapasiteli fotovoltaik panel yerleştirilmiştir.	Toplam 270 kWp kapasiteli fotovoltaik panel yerleştirilmiştir.
Enerji Tasarrufu	80%	80%

Çizelge 5.1., 5.2. ile 5.3. farklı projeye ait eğitim binalarının yenilenmesine dair örnekler analiz edilmiştir. Yenileme çalışmalarında farklı zaman, iklim bölgesi gibi etmenlerin malzeme seçimi ve sonuçlarda etkisi olduğu gözlenmiştir. Yenilenebilir enerji olan güneş enerjisinin Norveç hariç tüm projeler için kullanıldığı tespit edilmiştir. Norveç'te ise iklim

koşullarından dolayı tercih edilmemiştir. Farklı bir yenilenebilir enerji sistemine rastlanmamıştır. Enerji tasarrufu bakımından projeler incelendiğinde NBI'ın çalışmasında bu konu ile ilgili bir değer girilmemişken diğer projelerde en düşük %57 olacak şekilde tasarruf sağlandığı görülmüştür.

5.2. Milli Eğitim Bakanlığı'nın Enerji Etkin Yenileme Çalışmaları

Çalışma kapsamında Türkiye'deki enerji politikalarında Milli Eğitim Bakanlığı'nın mimari projeler aracılığı ile gerçekleştirdiği yenilikler araştırılacaktır. Bu doğrultuda Milli Eğitim Bakanlığı'nın "Geçici Koruma Altındaki Suriyelilere Ev Sahipliği Yapan İller İçin Temiz Enerji ve Enerji Verimliliği Önlemleri Projesi" ve "Çevre Dostu Bin Okul Projesi" bulunduğu tespit edilmiştir.

ABD Enerji Bakanlığı ve TC Milli Eğitim Bakanlığı, İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığı işbirliğiyle, AB Mali İmkanları ve MADAD Fonu desteğiyle, Alman Kalkınma Bankası (KfW) liderliğinde "Geçici Koruma Altındaki Suriyelilere Ev Sahipliği Yapan İller İçin Temiz Enerji ve Enerji Verimliliği Önlemleri Projesi" çerçevesinde "Eğitim Yapıları Çatı GES Yapım İnşaatı Sözleşme Paketi" Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Osmaniye, Konya, Mersin, Şanlıurfa ve Kahramanmaraş'taki 48 okul, bina ve ek yapı için çatı GES yapım işi (MADAD-KFW-CW-02) olarak adlandırılan bir proje uygulanmıştır. Bu proje, Suriye krizi kaynaklı artan göçler sonucunda ortaya çıkan eğitim ihtiyacını karşılamayı hedefleyerek, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği alanındaki çalışmalarla sürdürülebilir bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Projenin temel bileşenleri ise iki ana noktada yoğunlaşmaktadır (Geçici koruma altındaki Suriyelilere ev sahipliği yapan iller için temiz enerji ve enerji verimliliği önlemleri projesi, 2024).

Projenin ilk aşamasında, toplamda 14 MegaWatt kapasiteli bir güneş enerjisi santrali inşa edilerek okulların çatılarına toplamda 6 MegaWatt kapasiteli güneş panelleri yerleştirilmesi öngörülmektedir. Bu adım, okulların kendi enerjilerini temiz kaynaklardan biri olan güneş enerjisi ile üretmelerini sağlayacaktır (Geçici koruma altındaki Suriyelilere ev sahipliği yapan iller için temiz enerji ve enerji verimliliği önlemleri projesi, 2024).

Projenin ikinci aşamasında ise, 41 okulda enerji verimliliği dönüşüm çalışmaları planlanmaktadır. Bu çalışmaları belirlemek adına, 134 okulda detaylı teknik incelemeler

gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak 41 okul belirlenmiştir. Enerji verimliliği dönüşüm çalışmalarının tamamlanmasının ardından, okulların enerji tasarruf performansında en az %25'lik bir artış beklenmektedir (Geçici koruma altındaki Suriyelilere ev sahipliği yapan iller için temiz enerji ve enerji verimliliği önlemleri projesi, 2024).

Milli Eğitim Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı iş birliği ile "Okul ve Temiz Enerji" çatısı altındaki bir alt proje olan "Çevre Dostu 1000 Okul Projesi" ile okullarda enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji sağlanması, su tasarrufuna ve öğrencilerin geri dönüşüm ve sıfır atık konularındaki farkındalıklarını artırmaya yönelik uygulamalar düzenlenmesi amaçlanmaktadır. Projede Türkiye'nin her ilçesinden en az bir okul seçmek şartı ile 1000 okulun sürdürülebilir hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 5.4. MEB'in enerji etkin yenilmeye dair projeleri

No	Okul Adı	Bina Kaplaması	Isıtma Sistemi	Mekanik Sistem	Aydınlatma Sistemi	Güneş Kontrolü	PV Panel	Yağmur Suyu Depolama Ünitesi	Toplam
1	Dörtdivan Şehir Orhan Yalçın Ortaokulu						●		1
2	Gerede Seviller Ortaokulu						●		1
3	Göynük Ali Ericek İlkokulu						●		1
4	Kıbrıscık Şehit Süleyman Tombak İlkokulu						●		1
5	Mengen Atatürk Ortaokulu						●		1
6	Merkez Mehmet Akif Ersoy İlkokulu						●		1
7	Mudurnu Dumlupınar İlkokulu						●		1
8	Seben Ortaokulu						●		1
9	Yeniçağa Nene Hatun Anaokulu						●		1
10	Kuluncak Celal Yenitur Ortaokulu		●	●	●			●	4
11	Akçadağ Mehmet Akif Ersoy İlkokulu						●		1
12	Arapgir Mehmet Akif İlkokulu						●		1
13	Arguvan Atatürk İlkokulu						●		1
14	Battalgazi Kazım Karabekir İlkokulu						●		1
15	Darende Mehmet Akif Ersoy İlkokulu						●		1
16	Doğanşehir Ertuğrul Gazi İlkokulu						●		1
17	Doğanyol Şeh Türkan Türkmen Ortaokulu						●		1
18	Hekiman Sakarya İlkokulu						●		1
19	Kale İzollu İlkokulu						●		1
20	Kulumcak Celal Yenitur Ortaokulu						●		1
21	Pütürge Mehmet Akif Ersoy İlkokulu						●		1
22	Yazıahn Abdurrahman Serttaş İlkokulu						●		1
23	Yeşilyurt Bostanbaşı Ortaokulu						●		1
24	Doğanyol Şeh Türkan Türkmen Ortaokulu			●	●			●	3
25	Doğanyol Gökçe Ortaokulu	●							4
26	Bayraklı Şehit Fethi Sekin İlkokulu	●		●	●			●	4
27	Hacılar İstiklal İlkokulu			●	●				4
28	Hasan Yılmaz Kurt Ortaokulu		●	●	●			●	4
29	75. Yıl İlkokulu		●	●	●			●	4
30	Şarköy Atatürk İlkokulu		●	●	●				4
31	Arapgir Mehmet Ali Efendi İlkokulu		●	●	●			●	4
32	Arguvan Atatürk İlkokulu		●	●	●			●	4
33	İzmir Karaburun İlkokulu		●	●	●		●		4
34	Çeşme Alaçatı 15 Eylül İlkokulu		●	●	●		●		4
35	Bornova Fatih Sultan Mehmet İlkokulu		●	●	●		●		4
Toplam	9 farklı ilde	2	9	12	12	-	25	7	

Dünya ve Türkiye'den farklı projelere ait eğitim binalarının enerji etkin yenilenmesine dair enerji politikaları incelenmiştir. Genel olarak incelenen başlıklara bakıldığında; bina kaplaması, ısıtma sistemi mekanik sistem, aydınlatma sistemi, güneş kontrolü, PV panel adı altında analizler gerçekleştirildiği görülmüştür. Analizlere MEB'in projesi içerisinde bulunan yağmur suyu depolama ünitesi de ayrıca eklenmiştir. Tabloda aynı renkli art arda gelen binalar aynı ihale içerisinde bulunmaktadır (Çizelge 5.4).

Okullarda enerji verimliliğini artırmaya yönelik, elektrik tesisatları ve doğalgaz tesisatlarının yenilenmesi, inşaat onarımları, mevcut su bataryalarının hareket sensörlü bataryalarla değiştirilmesi, gün ışığına duyarlı aydınlatma sistemlerinin kullanılması gibi yenilikler gerçekleştirilmiştir. Tek binada özelinde en fazla 4 farklı başlık uygulanmıştır. Güneş kontrolü için uygulanan herhangi bir proje bulunamamıştır. Bina kaplaması (ısı yalıtımı) uygulamalarına sadece iki projede rastlanmıştır. PV panel ve yağmur suyu depolama ünitesi aynı bina özelinde bir arada kullanılmamıştır.

Yapılan incelemelerde güneş panelleri ve yağmur suyu toplama sistemlerinin benimsenmesi etrafında dönen temiz enerji politikalarının önceliklendirilmesi dikkat çekicidir. İki uygulama olmasına karşın, okullar arasında bu yaklaşımlardan birine yönelme konusunda yaygın bir eğilim olduğu görülmektedir. Projelerin ana hedeflerinden biri olan PV panelin tüm parametrelerden fazla kullanıldığı tespit edilmiştir.

Dünya ve Türkiye'deki bu konudaki diğer çalışmalara kıyasla MEB'in çalışmaları daha yeni olduğundan sonuçlarla ilgili bir rapor oluşturulmadığı tespit edilmiştir. Diğer çalışmalarda projeler kendi hazırladıkları kılavuzlar üzerinden yapılırken MEB'in çalışmalarında böyle bir kılavuza rastlanmamıştır. Yapılan çalışmaların sonucundaki enerji tasarrufunu görmek kamu veya özel sektörde bu tarz çalışmalar için bir örnek teşkil etmektedir.

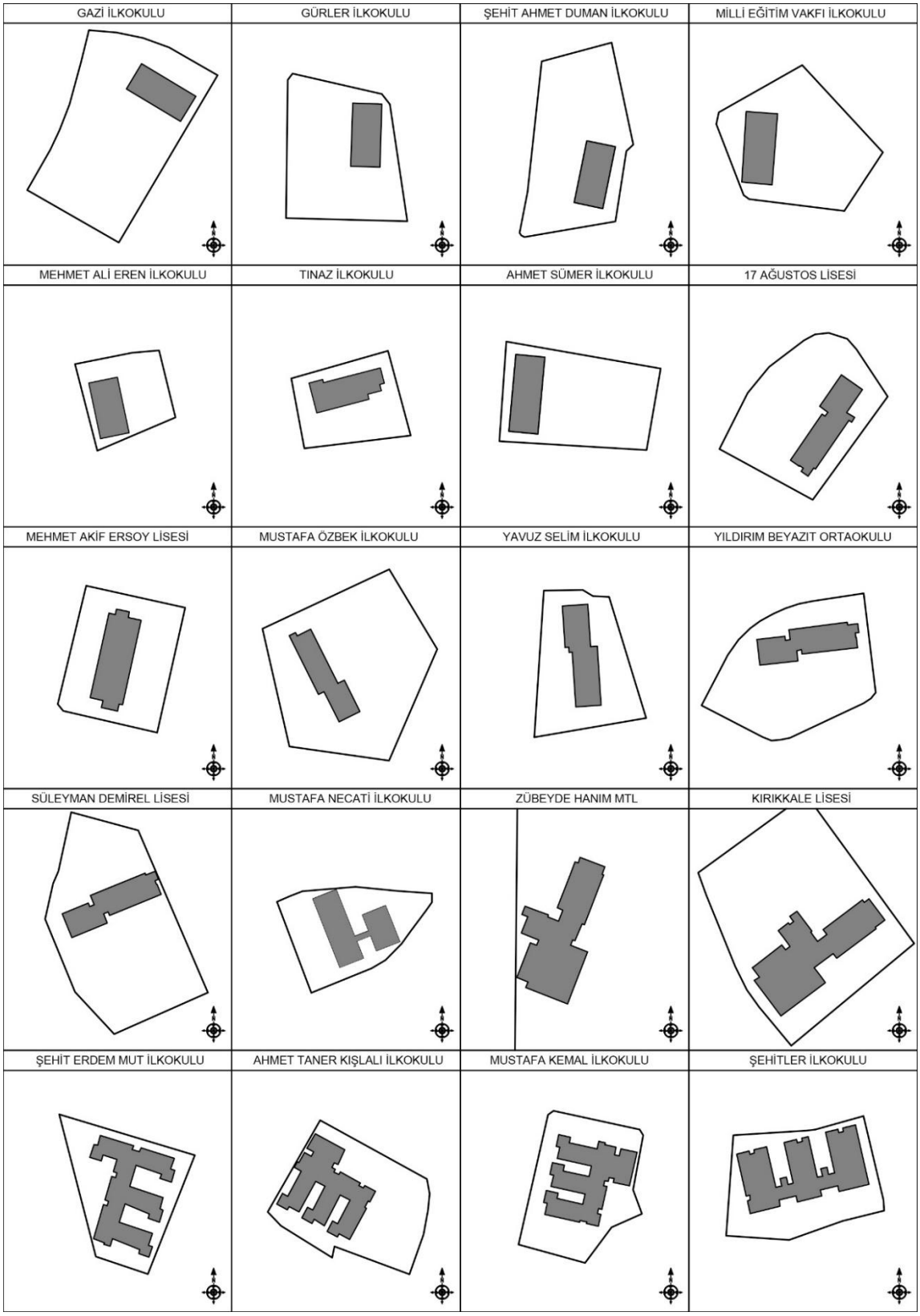
Sonuç olarak, Türkiye Milli Eğitim Bakanlığı'nın enerji politikaları, yenilikçi ve çevreci uygulamalarla okullarda enerji verimliliğini artırmaya yönelik adımlar atmaktadır. Bu çalışmaların, sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp aynı zamanda çevre dostu yaklaşımları önceliklendirerek öğrencilere çevre bilincini aşılamak gibi çoklu faydaları bulunmaktadır.

5.3. Seçilen Binaların Analizleri

Günümüzde yapılacak eğitim binaları için birçok alternatif bulunmasına rağmen eski binalar için aynı durum söz konusu değildir. Mevcut eğitim binalarının enerji tüketiminin azaltılması ve yenilebilir enerji sağlanması için Milli Eğitim Bakanlığı'nın çeşitli projeleri bulunmaktadır. Bu projeler, okul binalarında karbon içermeyen, sürdürülebilir bir yapılı çevre oluşturmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda önemli noktalardan birisi uygun vaziyet planları içerisinde uygulanabilecek stratejilerin belirlenmesidir. Bina içerisine müdahale etmeden dış cephede yapılacak en iyi iyileştirmelerden biri PV panel kullanımıdır. Türkiye'nin güneş alma seviyesinin yüksek ve PV panel kullanımında yeni bilinçlenen bir ülke olması nedeniyle tezin araştırma konusu PV panellerin mevcut eğitim yapılarına uygulanabilirliği olarak belirlenmiştir. Benzer tipte, aynı iklim şartlarında uygulanmış projelerde arazideki yönelimine göre PV panellerin hangi mertebede katkı sağlayacağı tespit edilecektir. Esas alınan değişkenlerden biri plan tipi, ikincisi yönelimdir.

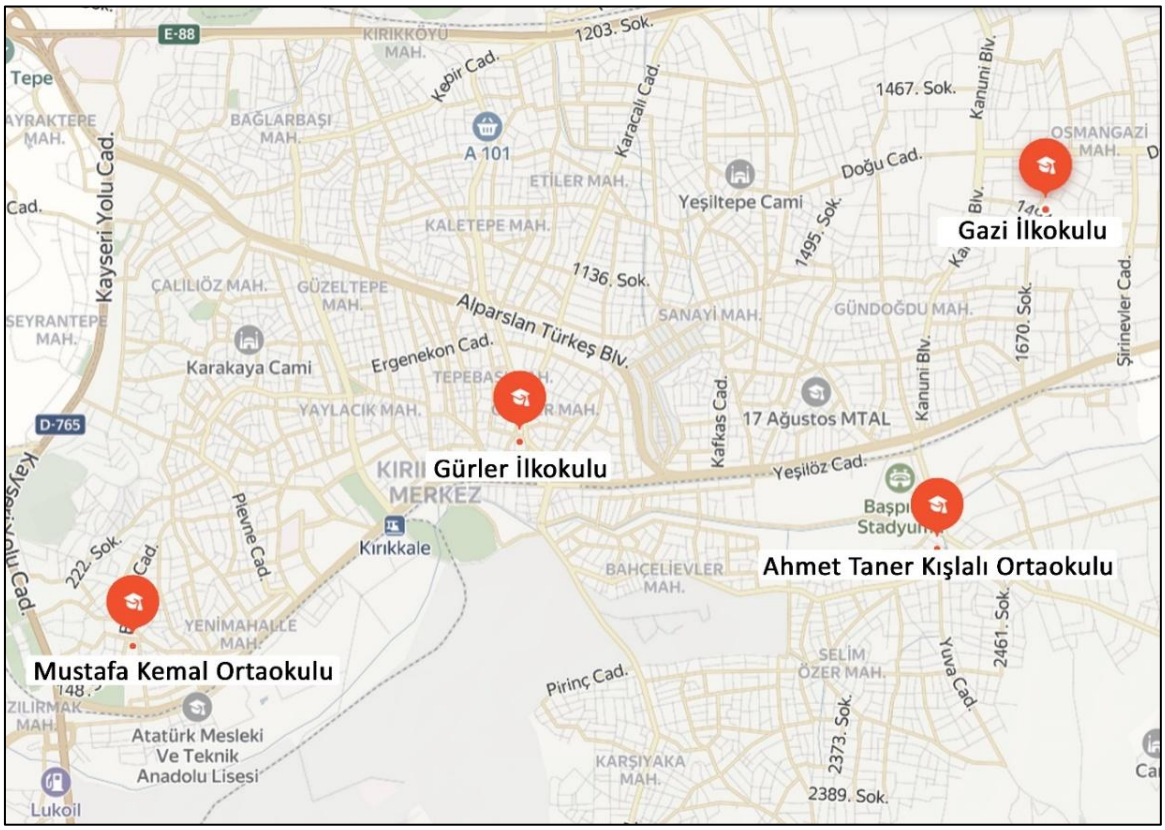
Türkiye'de Milli Eğitim Bakanlığı tarafından yapılan enerji iyileştirme çalışmalarında PV panel kullanımına öncelik verildiği ancak Kırıkkale ili için yapılan çalışmalarda yalnızca bir bina için PV panel uygulaması yapıldığı tespit edilmiştir. Kırıkkale ili için eğitim binalarında PV panel kullanımda bir eksiklik olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda seçilen eğitim binalarında PV panel uygulamaları yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında, Kırıkkale ili, merkezinde bulunan, MEB'in enerji iyileştirme için belirlemiş olduğu okullar öncellikle tespit edilmiştir. Bu okulların listesi Kırıkkale İl Milli Eğitim Müdürlüğü'nden alınmış, vaziyet planları incelenmiştir (Şekil 5.2) Vaziyet planları incelendiğinde tip projelerin dikdörtgen plan tipinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu nedenle en basit dikdörtgen plan tipi ve en karmaşık plan tipinden ikişer farklı bina analizi için seçilmiştir. İlk olarak dikdörtgen plan tipine ait iki bina belirlenmiş, sonrasında bu iki binayı doğrulamak amacıyla daha kompleks bir plan tipi de eklenmiştir. İki plan seçilme nedeni, E formdaki plan tipinden farklı yönlerde yalnızca iki adet bina bulunduğu içindir. Dikdörtgen plan tipinde ise çoğu binanın yönelimi benzerdir. Tespit edilen okullar arasından aynı yönelime sahip olanlar araştırma kapsamından çıkarılmış, farklı yönelimdeki aynı plan tipindeki okullar araştırma konusu olmuştur. Gazi İlkokulu, Gürler İlkokulu dikdörtgen plan tipi için, Mustafa Kemal Ortaokulu, Ahmet Taner Kışlalı Ortaokulu E plan tipi için seçilmiştir.



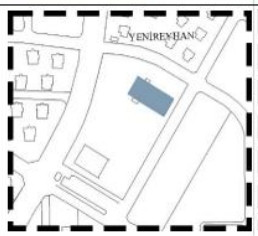
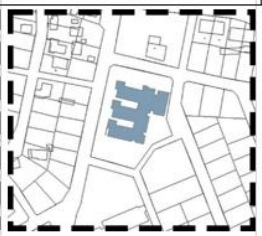
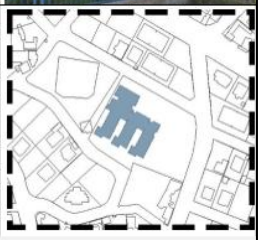
Şekil 5.2. Seçilen okulların vaziyet planları

Seçilen yapıların konumu 5.3. ile sayısal veriler ve fotoğraflar Çizelge 5.4. ile belirtilmiştir. Seçilen binaların konumları, Kırıkkale'nin farklı mahallelerine dağılmış bir şekilde yer almaktadır.



Harita 5.1. Seçilen binaların konumları

Çizelge 5.5. Örneklemi oluşturulan okul binaları

	Gazi İlkokulu	Gürler İlkokulu	Mustafa Kemal Ortaokulu	Ahmet Taner Kışlalı Ortaokulu
Okullar				
Plan Şeması				
Bina Kodları	D1 (Dikdörtgen Plan Tipi)	D2 (Dikdörtgen Plan Tipi)	E1 (E Plan Tipi)	E2 (E Plan Tipi)
Taban Alanı	670	665	1595	1587
Yapı İnşaat Alanı	2680	2660	4785	4761
Kat Adedi	4 Kat	4 Kat	4 Kat	4 Kat
Toplam Cephe Yüzey Alanı	1292 m2	1230 m2	3244 m2	3244 m2
Toplam Çatı Alanı	717 m2	717 m2	1840 m2	1840 m2
Pencere Oranları	22%	22%	32%	32%
Pencere	PVC	PVC	Alüminyum	Alüminyum
Duvar	Tuğla Duvar	Tuğla Duvar	Tuğla Duvar	Tuğla Duvar
Duvar Yalıtımı	5 cm Taşyünü	5 cm Taşyünü	5 cm Taşyünü	5 cm Taşyünü
Çatı Yalıtımı	-	-	-	-

Çizelge 5.5. ile yapıların mevcut durumları hakkında bilgi verilmektedir. Binalara plan tiplerine göre dikdörtgen plan tipine D, E plan tipine E kodu verilmiştir. Tezin kalan kısmında bu kodlar üzerinden binalar adlandırılacaktır. Tamamı dört katlı olan projelerin hepsinde duvarlarda tuğla duvar ve 5 cm taşyünü yapıldığı görülmektedir. Tip projeler olmasına rağmen taban alanlarında 5 m2'lik bir fark bulunmaktadır. Bu fark analizler yapılırken göz ardı edilmiştir. Pencere oranlarında dikdörtgen plan tipi 22% iken, E plan tipi 32%'dir. Pencere tipleri de iki tip için farklılık göstermektedir. Tamamı 4 katlı olan binaların bodrum katı bulunmaktadır. Bodrum, zemin ve 1. ve 2. katlar şeklinde tasarlanmıştır.

5.4. Sketchup ve PVSyst Programları ile Modelleme Yapılması

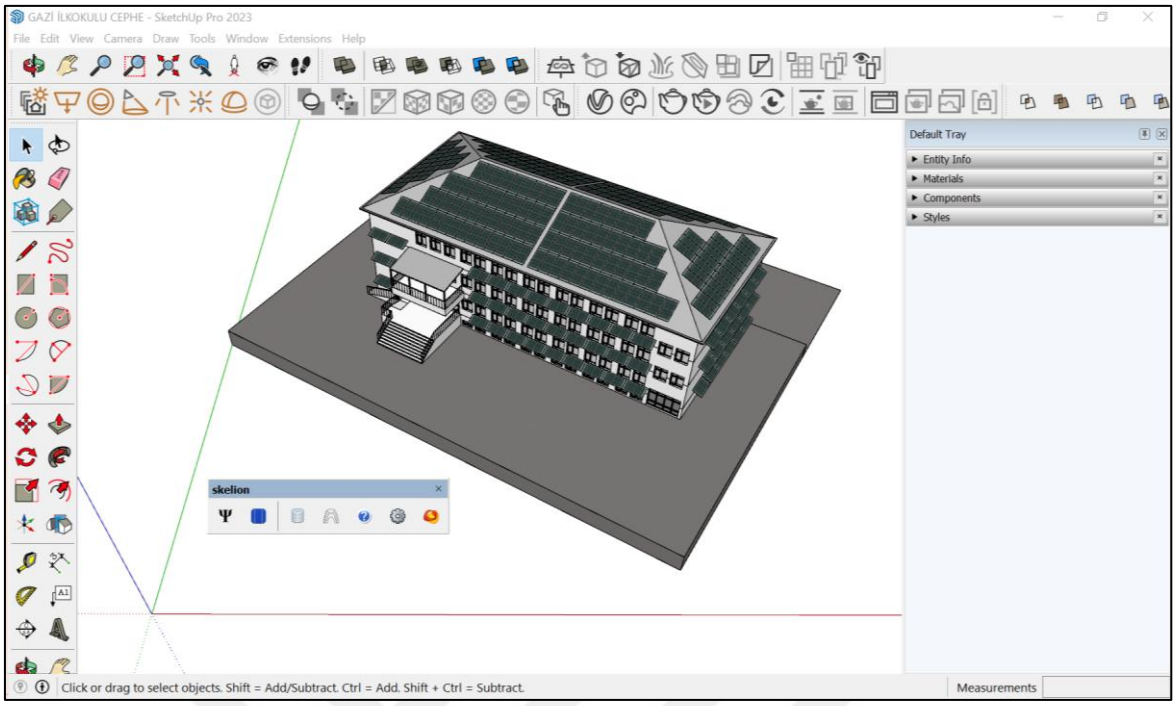
Binaların simülasyonu için öncelikle üç boyutlu modelleme imkanı sağlayan Sketchup programı kullanıldı. SketchUp, mimarlar, mühendisler, oyun geliştiricileri ve film

yapımcıları gibi çeşitli sektörlerdeki kullanıcıların üç boyutlu modelleme ihtiyaçlarına yönelik geliştirilmiş bir yazılımdır. İlk olarak 2001 yılında Boulder, Colorado merkezli @Last Software tarafından tasarlanan program, 14 Mart 2006'da Google'ın bu şirketi satın almasıyla Google çatısı altına girmiştir. 2005 yılında piyasaya sürülen 5. sürüm, ticari anlamda büyük bir başarı yakalamış ve bu dönemde birçok büyük ölçekli mimarlık ve mühendislik firması, SketchUp'ı tasarım süreçlerinde kullanmaya karar vererek toplu lisans alımları gerçekleştirmiştir.

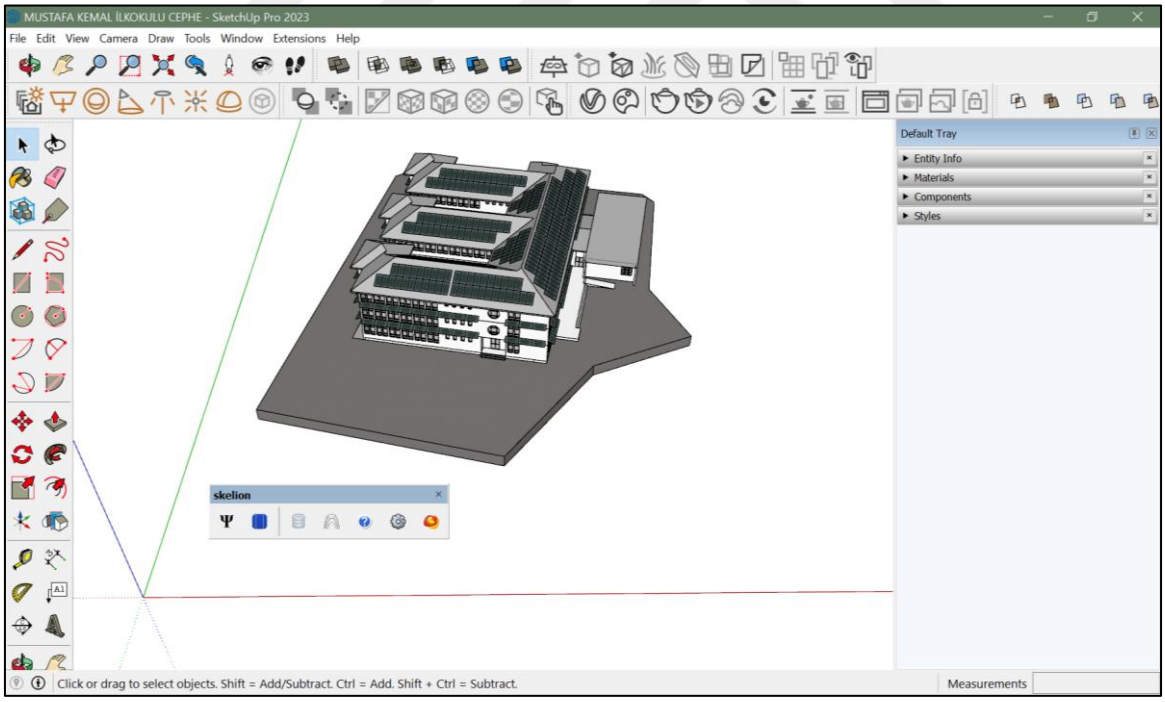
SktechUp'ta yapılan üç boyutlu modellemeden sonra, monte edilen yapıya güneş panelleri yerleştirmek için Skelion kullanıldı. Bir PV sisteminin enerji üretimini simüle etmek, doğal, bina ve çevre ortamını ve sistem bileşenlerini entegre eden kapsamlı bir model oluşturmayı içerir. PV paneller, bina zarflarının bir bileşeni olduğundan, eklentiler (örneğin Sketchup için Skelion, Revit için INSIGHT ve Rhinoceros 3D/Grasshopper için Ladybug araçları) CAD yazılımı veya BIM modelleme arayüzüne dayalı olarak geliştirilmiştir.

Skelion (2013) 2011 yılında eski Google SketchUp, şimdi ise Trimble Sketchup için bir eklenti olarak oluşturuldu. Bu eklenti, 3B modele dahil edilen bir grup PV bileşeninin elektriksel çıkış gücünü simüle eder. Güneş engelleri, gerekli fizibilite seviyelerini gerçekleştiren alanı belirlemek için bir mesafe/yükseklik veya bir gündönümü gölge kriteri ile çatıya yansıtılabilir. Coğrafi olarak referanslanmış binalar ve arazi modelleri Google Earth'ten içe aktarılabilir. Güneş radyasyonu ve ardından gelen elektriksel PV üretim tahminleri, sitenin konumuna bağlı olarak PVGIS'den (Suri ve diğerleri, 2008) veya PVWatts'tan (Marion ve diğerleri, 2001) edinilir. PVWatts kullanıldığında, Skelion ayrıca gölge düşürme faktörünü, gölgeleri dikkate alarak her panel için mevcut güneş enerjisinin yüzdesini hesaplar. Modelleme yapılırsa, ağaçlar katı gölge düşürücüler olarak kabul edilir. Çıktı, sistem bileşenlerini ve enerji verimini içeren raporlar olarak teslim edilir, bunlar yüze göre veya aynı bileşen, eğim ve görünüme sahip gruplara göre veya dizilere göre düzenlenir. Üretim seviyeleri taslakta görülebilir, ancak ışınlama seviyeleri gösterilmez (Freitas, 2018)

Bu tezde piyasada yaygın olarak kullanılan Sketchup ve Skelion programları kullanılmıştır. Yapılan modeller PVsyst programına aktarılmış, PV panel analizleri bu program ile yapılmıştır (Şekil 5.3, 5.4)



Şekil 5.3. Gazi ilkokulu sketchup modellemesi



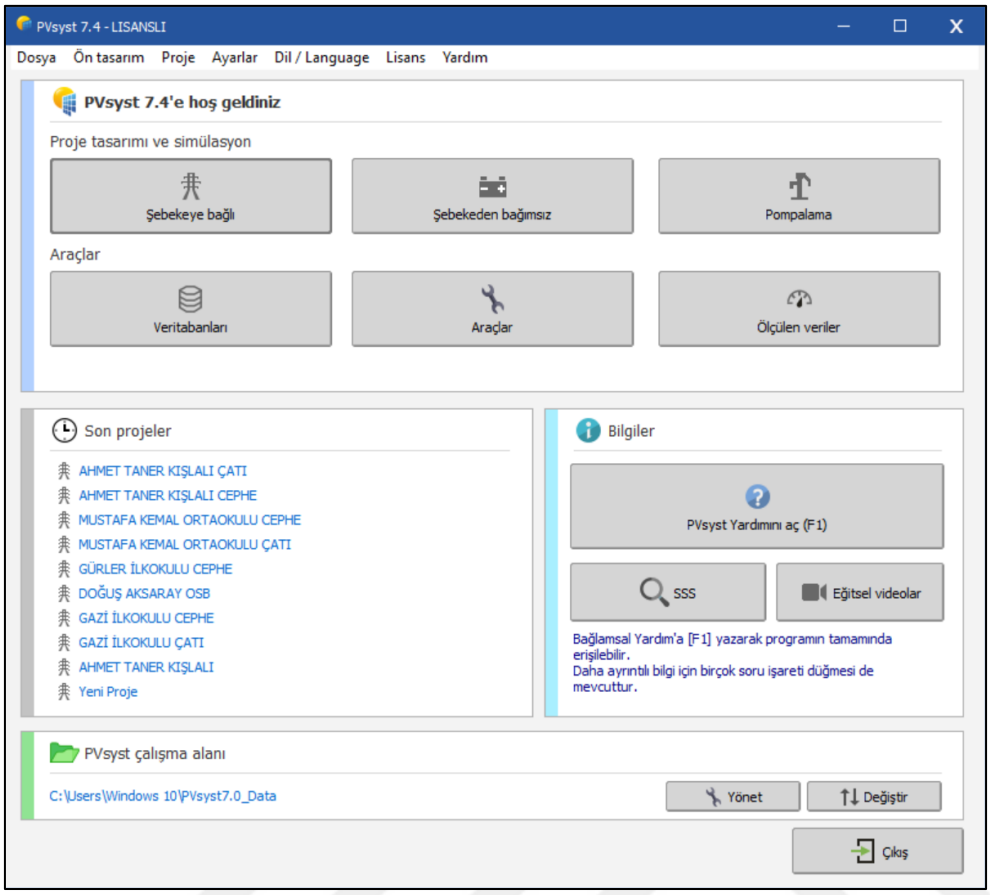
Şekil 5.4. Mustafa Kemal Ortaokulu sketchup modellemesi

Fotovoltaik sistem aracılığıyla enerji üretimi, PVsyst, INSEL, TRNSYS, PVSOL, SOLARPRO vb. gibi çeşitli simülasyon modelleri kullanılarak hesaplanabilir. Ekonomik değerlendirme araçları HOMER, Solar Advisor Model (SAM), RETScreen, SOLinvest ve

Energy Periscope'dur. Bu yazılımlar ayrıca performans oranını bulmaya ve kayıpları azaltmaya yardımcı olur. Simülasyon için meteorolojik veritabanı AEMET Avrupa Güneş Radyasyon Atlası, NASA, METEONORM, ISPRA-GIS, HELIOS, Solaris, PV-Design Pro vb.'den alınabilir. Bu tez için veriler METEONORM'dan alınmıştır ve PVsyst simülasyon programı kullanılmıştır (Kumar ve diğerleri, 2020)

PVsyst, ilk olarak Cenevre Üniversitesi'nde tasarlanan ve PV sisteminin çalışma ve operasyonlarının hesaplanmasına yardımcı olan bir simülasyon yazılımıdır. Bu yazılım, sistemin yapılandırmasının tasarlanmasına yardımcı olur ve ayrıca üretilen enerji miktarının hesaplanmasını sağlar. Çıktı, daha çok PV sisteminin coğrafi konumuna bağlı olan boyutlandırma sisteminin simülasyonuna dayanır. Sonuçlar, aylık, günlük veya saatlik değerlerde görüntülenebilen çeşitli simülasyon değişkenlerini içerir. "Kayıp Diyagramı", sistem tasarımındaki zayıflıkları tahmin eder (Kumar ve diğerleri, 2020) PVSyst'te bir tür finansal modelleme mevcuttur ancak temel olarak bir performans modelleme yazılımıdır.

PVSyst, yalnızca Windows işletim sistemi için kullanılabilir ve yalnızca PV sistemleriyle ilgili projeleri gerçekleştirir. Şekil 5.5., proje penceresinin seçimini gösterir. Giriş dosyasının zaman adımı saat cinsindendir, PVSyst dakikaya dayalı giriş dosyalarını desteklemez.



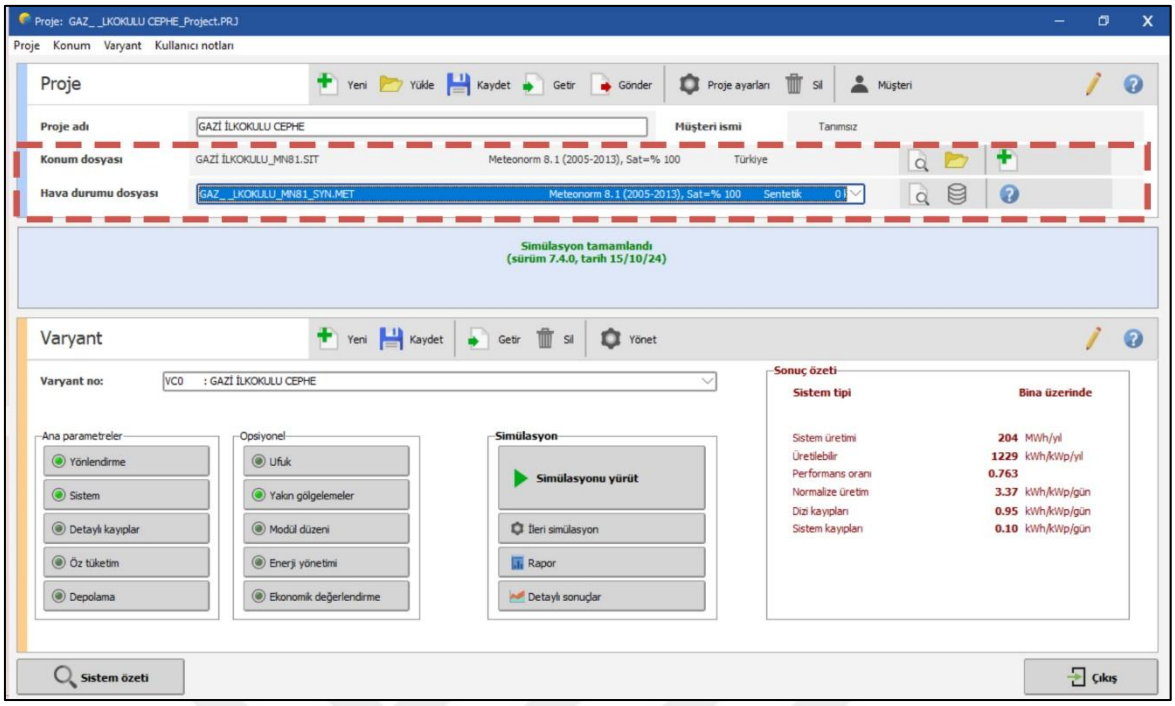
Şekil 5.5. Pvsyst 7.4. Programı arayüzü

İlk olarak giriş ekranında oluşturulacak PV sisteminin şebeke bağlantılı (grid-connected) bir sistem olduğu seçilmiştir. Şebeke bağlantılı sistemler, batarya kullanımı gerektirmemesi ve üretilen fazla elektrik enerjisinin şebekeye aktarılabilmesi gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.

PVSyst'te tipik bir simülasyon aşağıdaki adımlardan oluşur:

Projenin tanımlanması

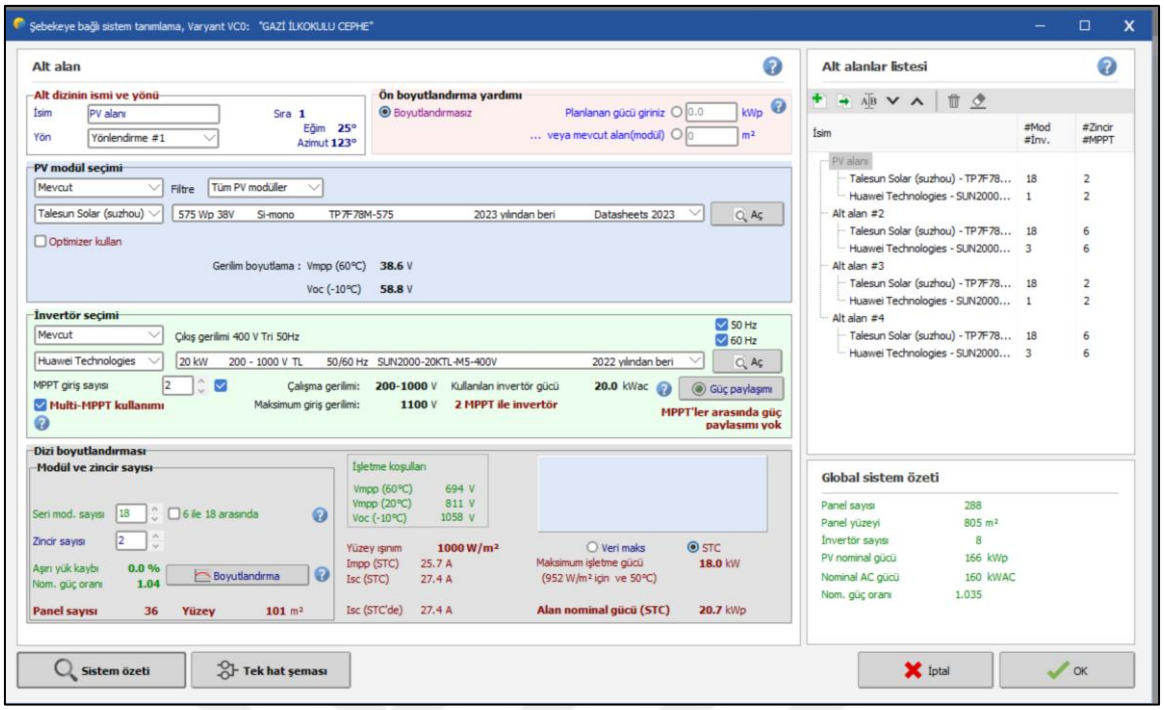
PVSyst veri tabanında farklı siteler ve meteoroloji dosyaları mevcuttur. Ancak kişi sitenin konumuna ve kullanılacak meteoroloji dosyalarına bağlı olarak kendi projelerini oluşturabilir (Şekil 5.6).



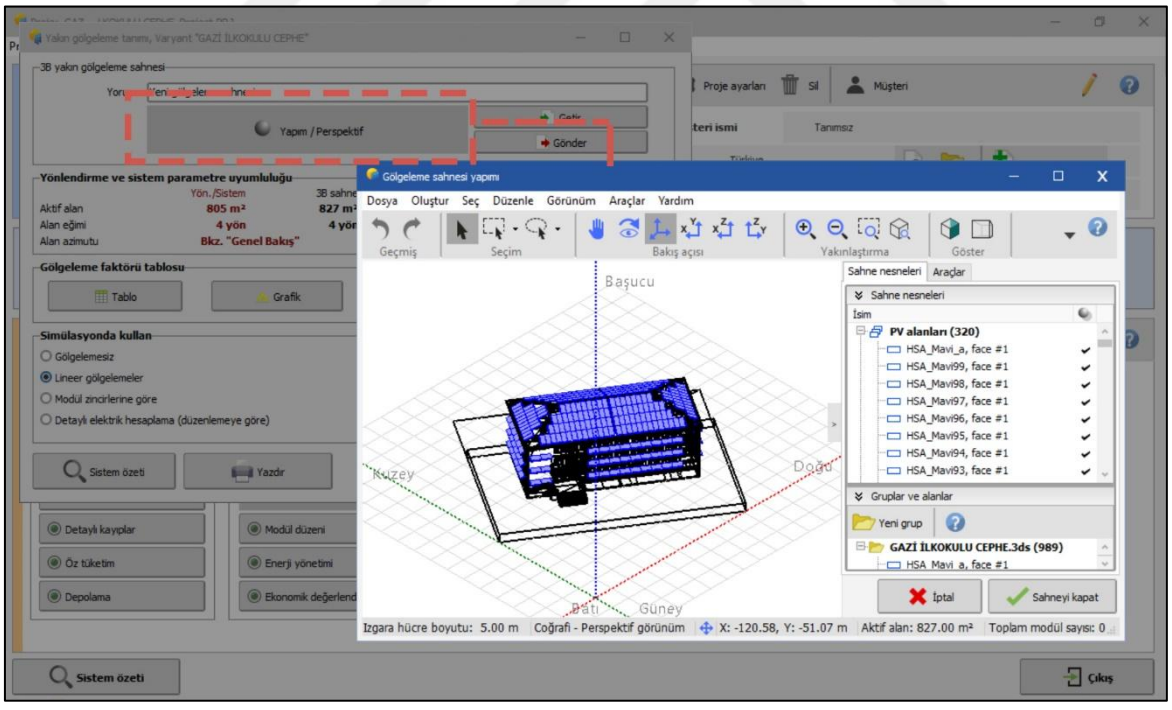
Şekil 5.6. Konum bilgilerinin girilmesi

Bir sistem varyantı oluşturma

1. adımda oluşturulan projenin bir hesaplama versiyonunu oluşturduğu yer burasıdır. Arayüzde, kullanıcı modül yönelimi, sistem yapılandırması ve kayıp parametreleri gibi çeşitli giriş parametrelerini tanımlayabilir. Tez doğrultusunda yönlendirme kısmına projede bir giriş tanımlanmamış, yakın gölgelemeler kısmından girilen modelden otomatik yönlendirme alınmıştır. Sistem bilgileri yine model esas alınarak farklı yönlendirmeler için girilmiştir. En çok kullanılan PV modüllerden biri olan Talesun Solar ile inverter için Huawei markaları seçilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Sistem bilgilerinin girilmesi



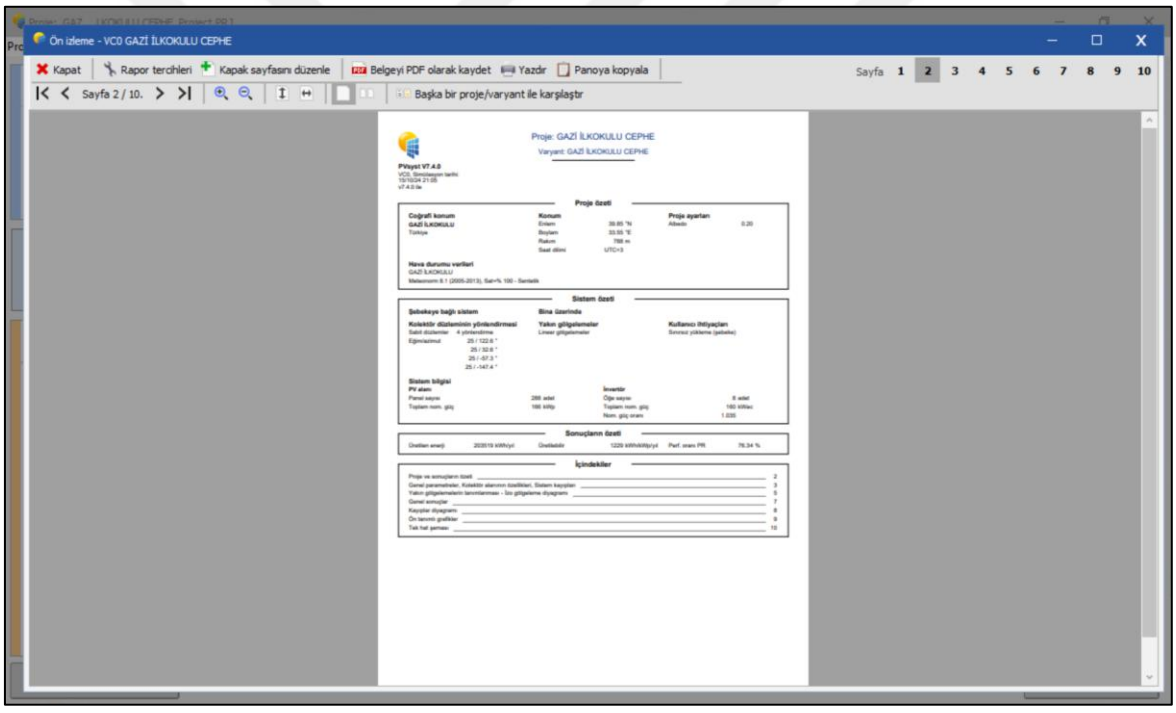
Şekil 5.8. Yakın gölgelemeler modülünden modelin içeri aktarımı

Yakın gölgelemeler modülünden yapım/perspektif seçilerek sketchupta düzenlenen model dosyası 3DS olarak kaydedilip aktarılmıştır. Sketchupta düzenlenen dosya ile PVsyst dosyası kuzey güney aksında ters çalışmaktadır. Bu nedenle model içeri aktarıldıktan sonra

dosya sahnenin orjininde 180 çevrilmesi gerekmiştir. Aktarılan dosya içerisindeki modüller çatı ile aynı yüzeyde olduğundan sistemde görülmemiş, modüller seçilerek 1 cm kadar yukarı alınmıştır. Böylece sisteme modüller tanımlanmıştır. Bu menüde sistem özetindeki veriler doğrultusunda sistem menüsüne Şekil 5.7.'de görüldüğü üzere dört PV yönlendirmesine göre giriş yapılmıştır. Bu kısımda programın verdiği hatalara göre düzenlemeler yenilenmiştir (Şekil 5.8).

Simülasyon oluşturma

Simülasyon oluşturma kısmında, PV sistemi için farklı grafikler ve raporlar oluşturulur. Bu bölümde sonuçların analizi rapor olarak düzenlenmiş ve kaydedilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Rapor oluşturma

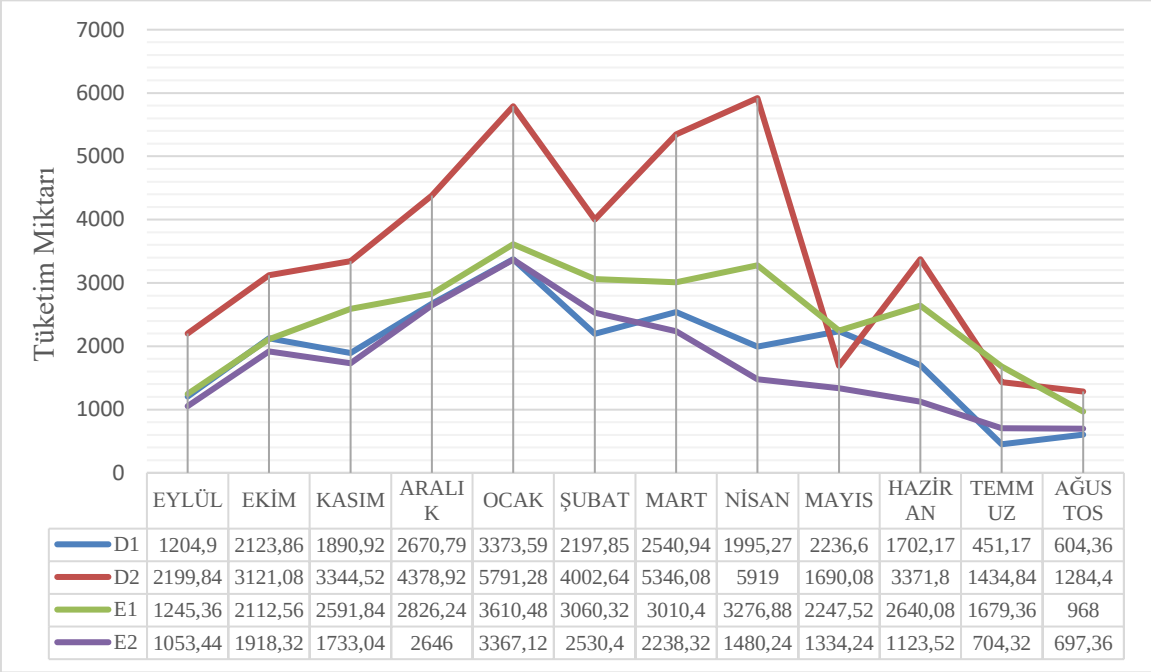
5.5. PV Panellerin Yapım Maliyetinin Hesaplaması

Tez çalışmasında seçilen monokristal fotovoltaik panel tipinin uzunluğu 2465 mm, genişliği 1134 mm, kalınlığı ise 35 mm, ağırlığı 31,50 kg'dir.

PV panellerin yapım maliyeti, projenin büyüklüğü, kullanılan ekipman kalitesi, montaj yöntemleri ve coğrafi koşullar gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu

çalışmada, seçilen örnek okullar için maliyet hesaplamaları yapılırken pv panel konstrüksiyon maliyetleri dikkate alınmıştır. Kullanılan panellerin tipine, kapasitesine ve sayısına bağlı olarak, her bir okul için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir.

Maliyet hesaplamaları yapılırken, farklı yönelim ve çatı ve çatı+cepheye yerleşim olarak değerlendirilip buna göre PV panellerin kurulumunda ortaya çıkan maliyet farkları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeleri yapabilmek adına öncelikle her bina için 1 senelik tüketim değerleri ilgili müdürlükten temin edilmiştir.



	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS
D1	1204,9	2123,86	1890,92	2670,79	3373,59	2197,85	2540,94	1995,27	2236,6	1702,17	451,17	604,36
D2	2199,84	3121,08	3344,52	4378,92	5791,28	4002,64	5346,08	5919	1690,08	3371,8	1434,84	1284,4
E1	1245,36	2112,56	2591,84	2826,24	3610,48	3060,32	3010,4	3276,88	2247,52	2640,08	1679,36	968
E2	1053,44	1918,32	1733,04	2646	3367,12	2530,4	2238,32	1480,24	1334,24	1123,52	704,32	697,36

Şekil 5.10. Seçilen okulların aylık enerji tüketimi

Seçilen dört binanın mimari projeleri ve 2023 Eylül -2024 Ağustos dönemine ait 1 yıllık elektrik kullanım miktarları, ilgili müdürlükten temin edilmiştir. Tablo incelendiğinde tatil günleri ve kış ayları haricinde tüketim değerlerinin önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir. Diğerlerinden farklı olarak D2 binasında tüketim değerlerinin Mayıs ayında diğerlerine oranla büyük bir düşüş yaşadığı gözlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak bazı okullarda önceki aylarda tüketim miktarının doğru yazılmadığı sonraki aya aktarıldığı ilgili müdürlük tarafından belirtilmiştir. Tüm okulların en yüksek değerlerine Kırıkkale için en soğuk aylardan olan Ocak ayında rastlanmıştır (Şekil 5.10).

Çizelge 5.6. Seçilen okulların yıllık enerji tüketimi

Modeller	Yıllık Enerji Tüketimi (kWh/gün)	Öğrenci Sayısı
D1	22992,42	277
D2	41884,48	723
E1	29269,04	266
E2	20826,32	215

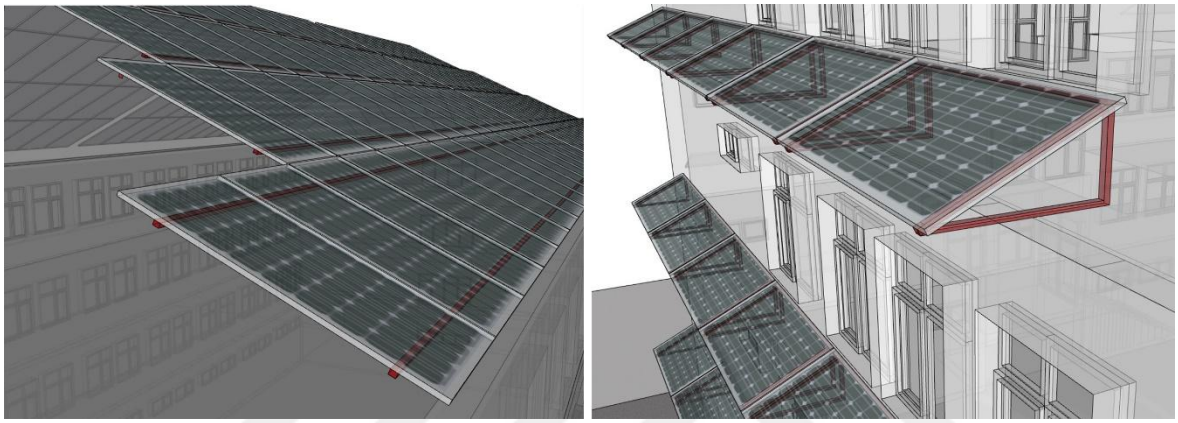
En yüksek tüketim değerinin D2 okulunda olduğu tespit edilmiştir. Tüketim değerlerinin bina büyüklüğüne bağlı olmadığı binaların mevcut öğrenci sayılarına bağlı olduğu tespit edilmiştir. D2 okulu diğer okullara kıyasla merkezi bir konumda olması sebebiyle kapasitesinin oldukça üzerinde bir yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Öğrenci sayılarına ilgili okulların sitelerinden ulaşılmıştır (Çizelge 5.6).

Seçilen okullara ait tüketim değerleri elde edildikten sonra panellerin üreteceği elektrik 2024 güncel birim fiyatlar üzerinden tespit edilmiştir. Seçilen okul binaları, elektrik dağıtım şirketince fonksiyonundan dolayı "ticarethane" olarak değerlendirilmektedir. Faturalara bakıldığında çoğu binanın 900 kWh üstü kullanıma sahip olması sebebiyle Şekil 5.10'da bulunan ilgili değerler enerji üretimi hesaplanırken kullanılmıştır.

Mesken Tipi	Aktif Enerji (TL/kWh)	Dağıtım Bedeli (TL/kWh)	KDV	Tüm Vergi ve Fonlar Dahil Son Fiyat (TL/kWh)
Konut (240 kWh tüketime kadar)	0,494065	1,365179	0,08	2,00798352
Konut (240 kWh tüketimden sonra)	1,391181	1,365179	0,08	2,9768688
Ticarethane (900 kWh tüketime kadar)	2,463661	1,395844	0,18	4,5542159
Ticarethane (900 kWh üstü tüketim)	3,068350	1,395844	0,18	5,26774892
Sanayi	2,675627	1,029981	0,18	4,37261744
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	0,061590	0,828453	0,18	1,05025074
Tarımsal Sulama	1,950087	1,146937	0,08	3,34478592
Genel Aydınlatma	3,890440	0,841099	0,08	5,11006212

Şekil 5.11. Güncel elektrik birim fiyatları

Her model için yıllık üretilen toplam elektrik bedeli Şekil 5.10‘daki birim fiyatlar doğrultusunda tespit edilmiştir. Konstrüksiyon bedelini hesaplamak için öncelikle Şekil 5.13.’de kırmızı ile belirtilen şekilde bir profil yerleşimi yapılmıştır. Bu yerleşime göre bir kg hesabı yapılmıştır. Kg hesabı yapılırken en 55mm, boy 80mm olan tek tip profil kullanılmıştır. Seçilen profil ağırlığı alüminyum ağırlık hesaplama ile ilgili bir siteden yapılmıştır (Alüminyum ağırlık hesaplama, 2024). Hesaplanan profil ağırlıkları ÇSB 2024 birim fiyatlarından 25.178.2002 pozu seçilmiş ve maliyet bu doğrultuda tespit edilmiştir.

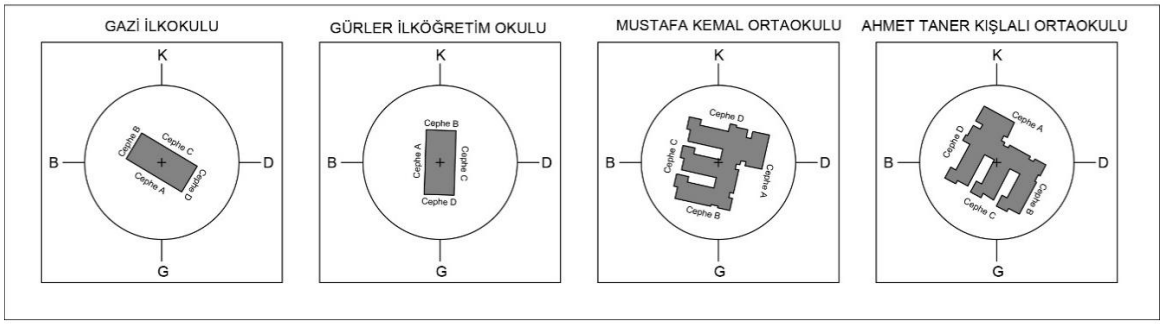


Şekil 5.12. Çatı ve cephede profil yerleşimleri

PV panel maliyeti yine ÇSB pozlarından olan 35.200.1446 pozu kullanılarak yapılmıştır. Üretilen elektrikten elde edilen kar, pv panel maliyeti ve kontrüksiyon maliyeti hesaplanmış, bu doğrultuda bir geri ödeme süresi belirlenmiştir.

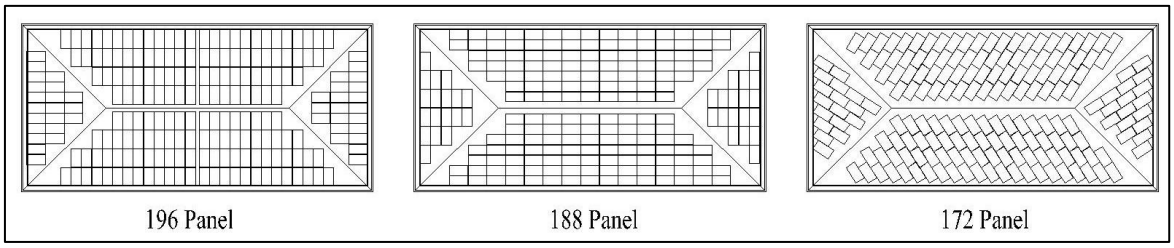
6. ALAN ÇALIŞMASI

Fotovoltaik (PV) paneller, yenilenebilir enerji üretimi için en yaygın kullanılan teknolojidir. Ancak, kentsel alanlarda kurulum yerleri öncelikle bina çatıları ile sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada, okul binalarının plan yöneliminden kaynaklanan performans oranı araştırılırken PV paneller ilk olarak çatıya, ikinci olarak çatı ve cepheye yerleştirilerek üretilen enerjiler tespit edilmiştir. Şekil 6.1. ile seçilen binaların yönelimleri gösterilmektedir. Cephe A ile belirtilen kısımlar bina girişleridir.



Şekil 6.1. Seçilen binaların yönelimi (cephe a'dan bina girişi)

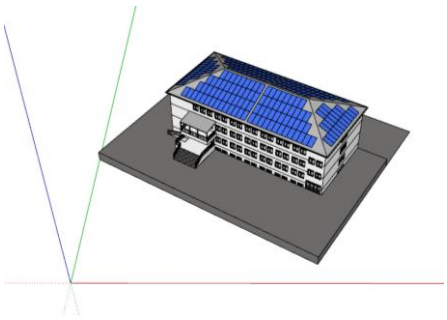
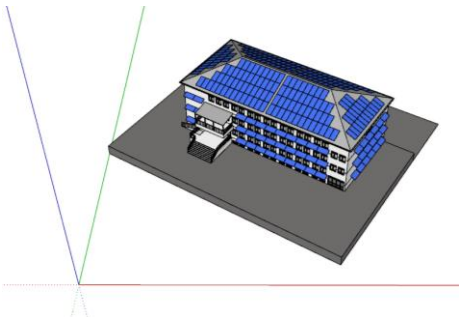
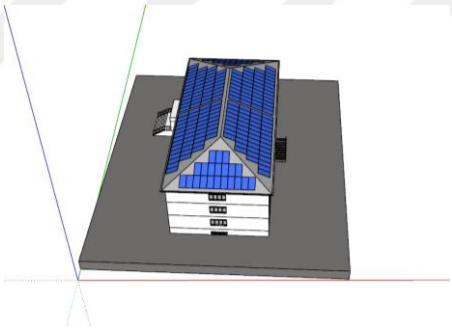
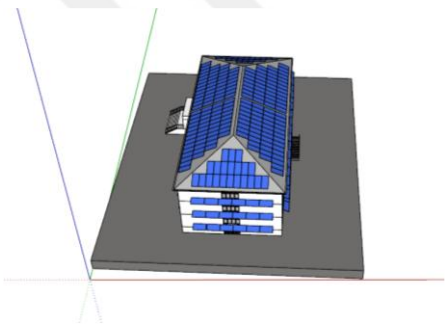
PV modülleri çatı eğimiyle aynı doğrultuda, çatı kenarlarına 50 cm mesafede yerleştirilmiştir. Her modül arası kablo kanalları için 2 mm boşluk bırakılmıştır. Modül yerleşimi yapılırken PV modüllerin bina çatısına yaptığı ağırlık, araştırma konusuna dahil edilmemiştir. Panel yerleşimi yapılırken çatı ve cephede sığabilecek maksimum şekilde yapılmıştır. Çok dar cephelerde yerleşim yapılmamıştır. Cephede aynı hiza haricinde yerleşim yapılmamıştır. D ve E tipleri için kendi plan tipinde yönelim farkını hesaplayabilmek adına eşit şartlarda yerleşim yapılmıştır. Panel yerleşimi için yatay, dikey ve güneş yönünde güneye yerleştirilecek şekilde Gazi İlkokulu için denemeler yapılmış, en yüksek performansın dikey yerleşimde olduğu tespit edilmiştir. Diğer binalara da aynı yönde yerleşim yapılmıştır. Panel yerleşiminin fazla olması panel verimliliğini doğrudan etkilemektedir.



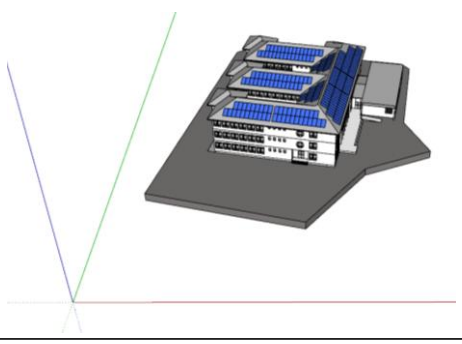
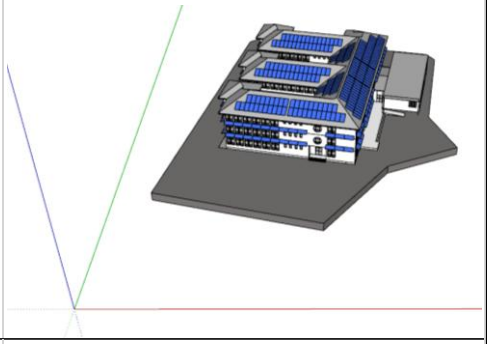
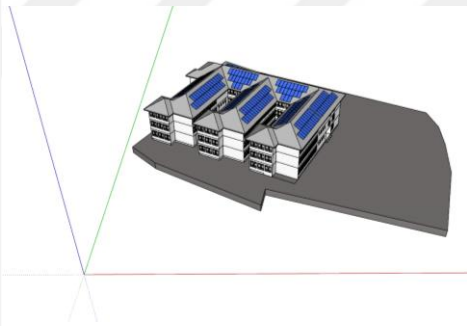
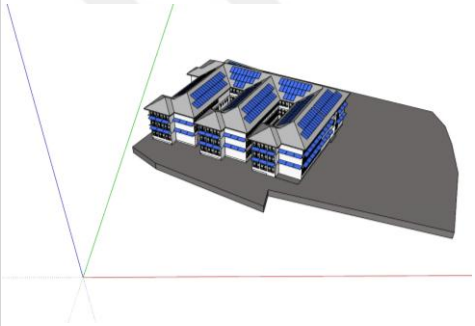
Şekil 6.2. Pv panel yerleşimi

Yönelim haricinde binalara çatı ve çatı+cephe olarak farklı PV panel yerleşimleri yapılmış ve bu iki durum ayrı olarak kıyaslanmıştır. D1-Ç, D2-Ç modellerinde 196 adet, D1-ÇC, D2-ÇC modellerinde 288 adet, E1-Ç, E2-Ç modellerinde 304 adet, E1-ÇC, E2-ÇC modellerinde 408 adet PV modül kullanılmıştır.

PV modül yerleşimine uygun olan tüm cephelerde panel yerleşimi yapılmıştır. Cephelere yerleştirilen paneller Kırıkkale için optimum eğim açısı olan 38° ile yerleştirilmiştir (81 İl İçin Önerilen Güneş Paneli Eğim Açısı, 2024). Fakat pencereler arasındaki boşluk az olduğundan paneller pencerelerin üst kısmına denk gelmiştir. Bu nedenle eğim açısı pencerelerin önünü kapatmayacak şekilde 25°'lik eğimle yerleştirilmiştir (Şekil 6.2., Şekil 6.3., Şekil 6.4).

Okul	**Gazi İlkokulu**	
Modeller	D1-Ç	D1-ÇC
Panel Yerleşimi	Çatı	Çatı+Cephe
		
Panel Sayısı	196	288
Okul	**Gürler İlkokulu**	
Modeller	D2-Ç	D2-ÇC
Panel Yerleşimi	Çatı	Çatı+Cephe
		
Panel Sayısı	196	288

Şekil 6.3. D1-ç, d1-çc, d2-ç, d2-çc modelleri

Okul	Mustafa Kemal Ortaokulu	
Modeller	E1-Ç	E1-ÇC
Panel Yerleşimi	Çatı	Çatı+Cephe
		
Panel Sayısı	304	408
Okul	**Ahmet Taner Kışlalı İlköğretim Okulu**	
Modeller	E2-Ç	E2-ÇC
Panel Yerleşimi	Çatı	Çatı+Cephe
		
Panel Sayısı	304	408

Şekil 6.4. E1-ç, e1-çc, e2-ç, e2-çc modelleri

Seçilen binaların analizleri üç kategoride değerlendirilmiştir. Bu kategoriler; yönelim farkı, çatı çatı+cephe karşılaştırması ve maliyet hesabıdır. Farklı yönlerden incelenecek olan binalar için öncelikle PV panellerden üretilen enerji, üretilebilir enerji ve performans oranını toplu içeren bir tablo yapılmıştır (Çizelge 6.1). Sonrasında her alt başlıkta değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 6.1. PV panellerin üretim değerleri

Modeller	Toplam Üretilen Enerji (kWh/yıl)	Üretilebilir Enerji (kWh/kWp/yıl)	Performans Oranı
D1-Ç	155514	1380	85,78%
D1-ÇC	203519	1229	76,34%
D2-Ç	158730	1408	86,23%
D2-ÇC	206352	1246	76,88%
E1-Ç	242066	1385	85,88%
E1-ÇC	290899	1240	76,79%
E2-Ç	228882	1309	85,50%
E2-ÇC	280095	1194	76,25%

6.1. Yönelim Farklarının Karşılaştırılması

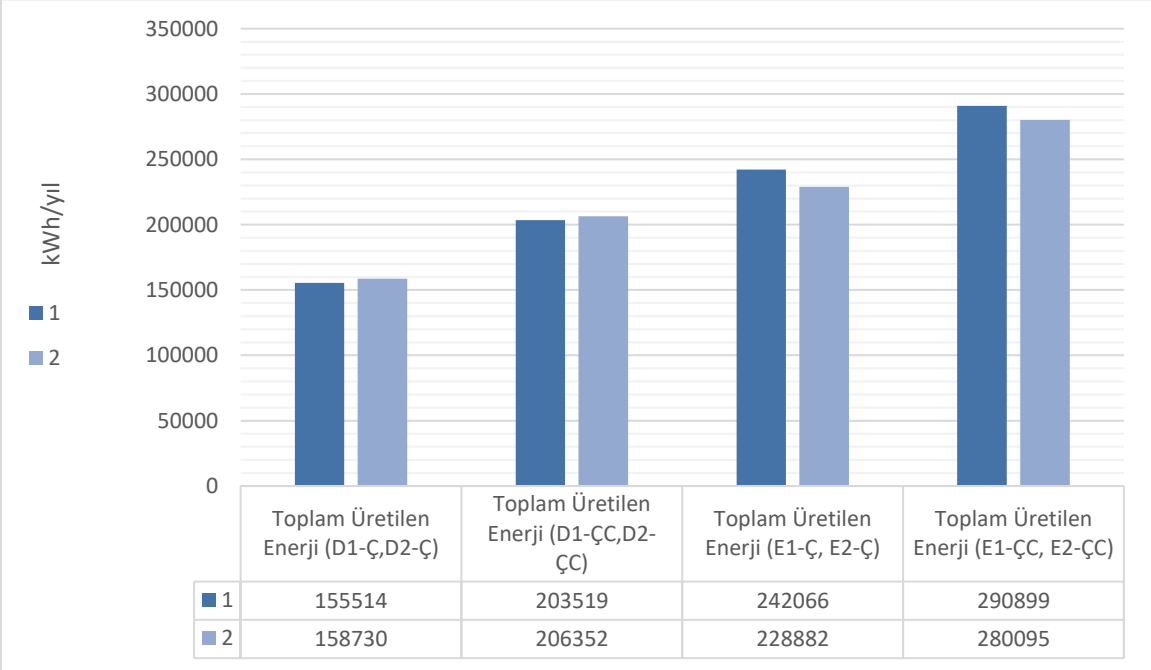
Güneş panellerinin en yüksek üretim kapasitesine ulaşabilmesi için, bir panelin doğru yöne bakması ve coğrafi konumuna ve meteorolojik verilere göre uygun eğime sahip olması gerekir. Güneş panelleri, güneş ışınlarının en yoğun olduğu ve en uzun süre boyunca yüzeyine dik olarak çarptığı zaman en fazla gücü kullanır.

Panellerin yönlendirilmesi sırasında coğrafi konum önemli olacaktır; kuzey yarımkürede güneş panelleri tam güneye bakmalı, güney yarımkürede ise tam kuzeye bakmalıdır.

Normalde, güneş ışınlarının mükemmel dikliğini elde etmek, güneş panellerinin gün boyunca doğrudan ışık alması için en uygun yönlendirmedir.

PV paneller farklı yönlere göre farklı verimlilik göstermektedir. Ancak daha karmaşık çok yönlü yerleşim yapıldığında bu durum tek yöne kıyasla farklılık göstermektedir. PV sistemleri diziler halinde tasarlanır. Her dizide aynı voltajın elde edilebilmesi için her dizide aynı sayıda güneş panelinin bulunması gerekir; bu da modüllerin invertöre bağlanabilmesi açısından önemlidir. Ancak bazen binaların alan kısıtlamaları, tasarımcının tüm güneş panellerini aynı yöne bakacak şekilde yerleştirmesine izin vermeyebilir. Örneğin, dizilim her dizide 5 güneş paneli olacak şekilde tasarlanırsa, mevcut alan sadece kuzeye bakan 3 güneş paneli ve batıya bakan 2 modül yerleştirmeye yetebilir. Buradaki sorun, dizinin maksimum güç noktasının (MPP) izlenmesi anında farklı yönelimlerden dolayı senaryoda uyumsuzluk kayıplarının ortaya çıkmasıdır. Ayrıca, daha az üretken yönelim, aynı dizide

yer alan diğer modüllerin güç üretimini etkileyecektir. Bu farklılık, güneş panelleri arasında uyumsuzluk kayıpları yaratacak ve bu durum, invertörün performansı ve PV sisteminin enerji verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilecektir. Farklı yönelimlere sahip olmak, güneş panellerinin sıcaklık değerlerini etkiler; çünkü bir bölüm güneş radyasyonu alırken (sabahın erken saatlerinde doğuya bakan modüller) diğerleri almayabilir ve bu da onları soğutur (sabahın erken saatlerinde batıya bakan modüller). Bu durum enerji kayıplarına yol açabilir.

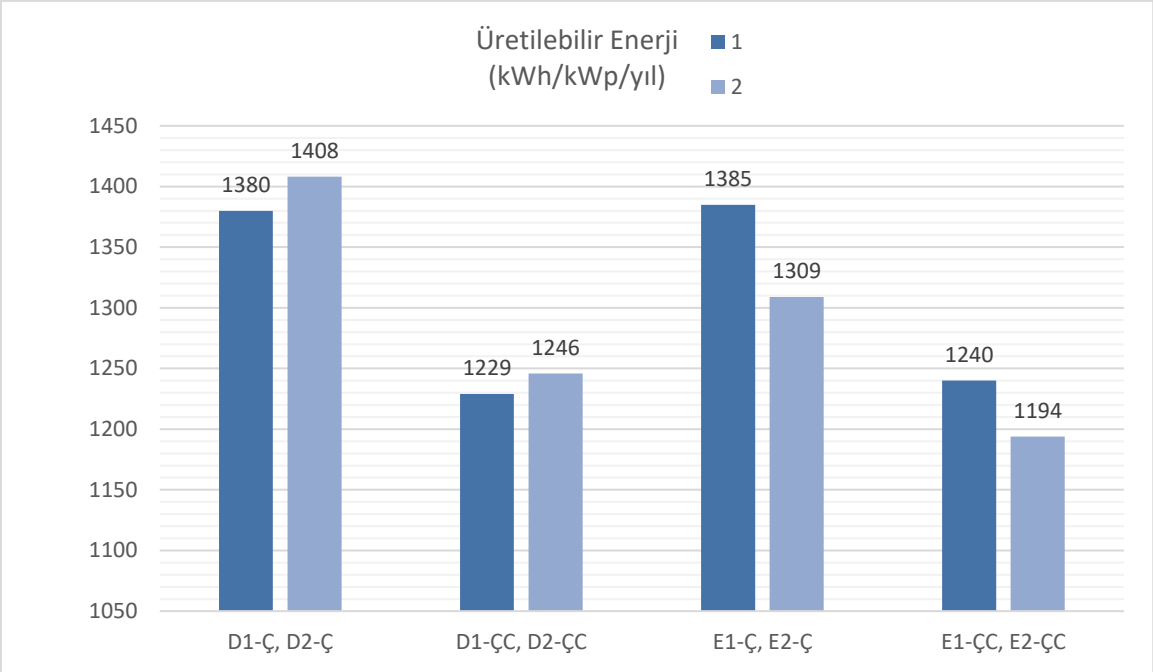


	Toplam Üretilen Enerji (D1-Ç,D2-Ç)	Toplam Üretilen Enerji (D1-ÇC,D2-ÇC)	Toplam Üretilen Enerji (E1-Ç, E2-Ç)	Toplam Üretilen Enerji (E1-ÇC, E2-ÇC)
1	155514	203519	242066	290899
2	158730	206352	228882	280095

Şekil 6.5. Yönelime göre toplam üretilen enerji (kwh/yıl)

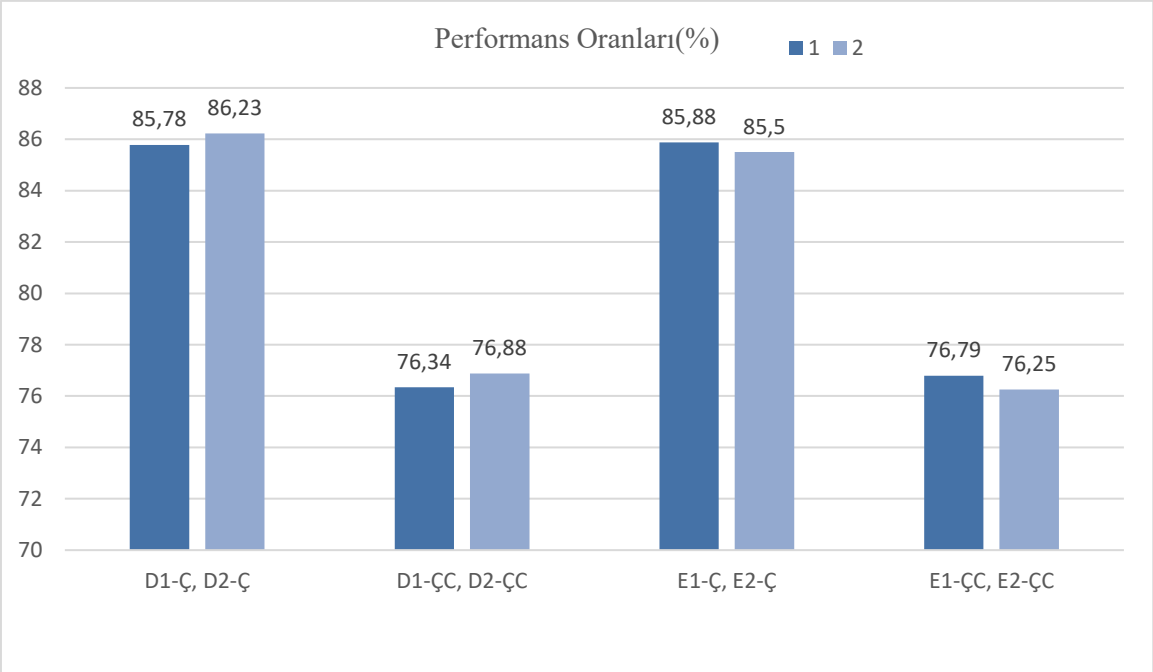
Yönelim farklarını inceleyebilmek adına dikdörtgen ve E plan tipine ait dört bina seçilmiştir. Bu planlardan dikdörtgen plan tipine sahip olanı daha küçük ölçekli, E plan tipine sahip olanı daha büyük ölçekli projelerdir.

Farklı yönelimlerdeki binalar incelendiğinde D1 ve D2 binaları için toplam üretilen enerji doğu batı aksında yerleşime sahip olan D2 binasında daha yüksek olduğu görülmüştür. E1, E2 binaları için ise yine doğu batı aksına yakın olan E1 binasında daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak yön karşılaştırması yapılacağından iptal edilemeyen kuzey cephesine bakan bina cephelerinin genişliğinin az olması verilebilir. Doğu batı aksına yakınlık ile daha yüksek verim elde edildiği bu kısımda tespit edilmiştir (Şekil 6.5).



Şekil 6.6. Yönelime göre üretilebilir enerji (kwh/kwp/yıl)

Üretilebilir enerji bakımından kıyaslama yapıldığında D1 ve D2 binaları için D2, E1 ve E2 binaları için E1 okullarının daha yüksek üretilebilir enerjiye sahip olduğu görülmüştür. Üretilebilir enerji, bir güneş enerjisi sisteminin belirli bir süre boyunca üretebileceği elektrik miktarını ifade eder. Bu değer, sistemin kurulu gücü, coğrafi konum, güneş ışınımı, panel verimliliği, sistem kayıpları ve çevresel faktörler dikkate alınarak hesaplanır. Toplam üretilen enerji ile üretilebilir enerjide aynı okulların verimlilikleri daha yüksek çıkmıştır (Şekil 6.6).



Şekil 6.7. Yönelime göre performans oranları (%)

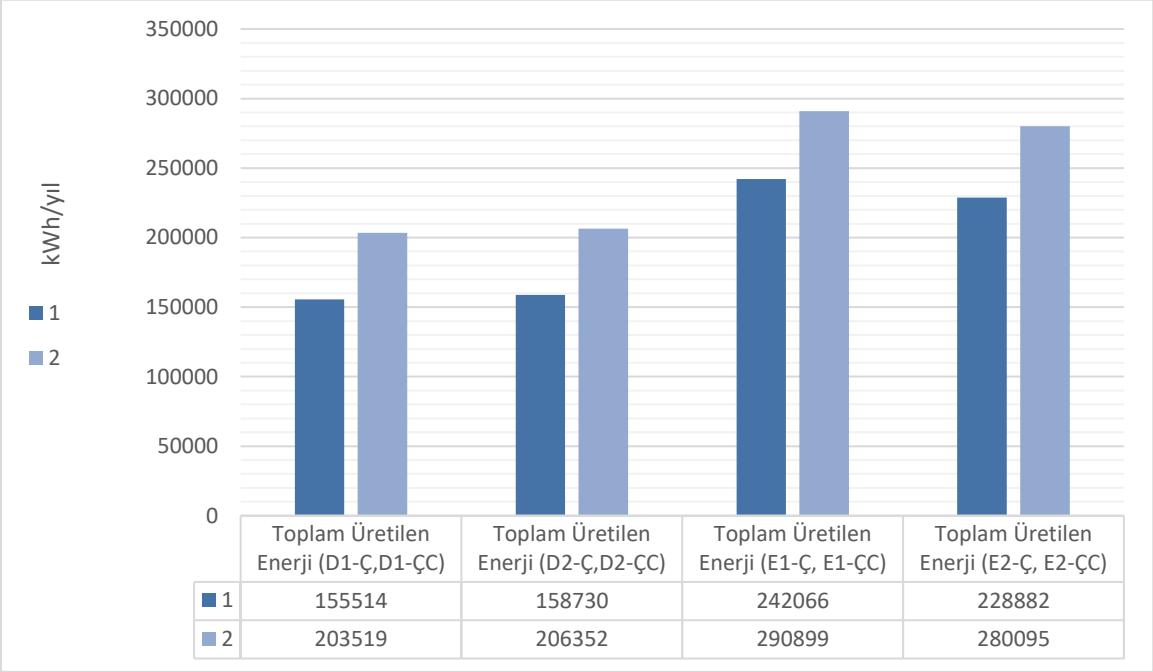
Performans oranları sistemin verimliliğini ifade eder. Yine D2 ve E1 binaları daha yüksek performans oranına sahiptir (Şekil 6.7).

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde bina yöneliminin güneş enerjisi üretimini büyük ölçüde etkilediği görülmektedir. Doğu batı aksı ve ona yakın aksların daha yüksek verimliliğe sahip olduğu iki bina için de doğrulanmıştır.

6.2. Çatı ve Çatı+Cephe Yerleşim Farklarının Karşılaştırılması

Fotovoltaik (PV) paneller, yenilenebilir enerji kaynakları arasında giderek daha fazla ilgi görürken, bina uygulamalarında hem estetik hem de işlevsel çözümler sunmaktadır. Geleneksel olarak çatı alanlarında kullanılan PV paneller, cephe yüzeyleriyle entegre edildiğinde enerji üretim potansiyelini artırmanın yanı sıra bina tasarımında sürdürülebilirlik odaklı yenilikler sunar. Çatı ve cephede birlikte kullanılan PV sistemleri, mevcut alanın daha etkin değerlendirilmesine olanak tanırken, aynı zamanda binanın enerji verimliliğini artırır ve karbon ayak izini azaltır. Bu yaklaşımla, bina mimarisine hem estetik hem de çevresel bir değer kazandırılarak, sürdürülebilir kentleşme hedeflerine katkı sağlanabilir.

Cephelerin de PV panellerle kaplanması, çatı ile sınırlı olan enerji üretim alanını genişletir. Bu, özellikle yüksek enerji talebi olan veya sınırlı çatı alanına sahip binalar için önemli bir avantajdır. Bu nedenle seçilen binalarda yalnızca çatıya değil aynı zamanda çatı ile birlikte cepheye de PV panel yerleşimi yapılmıştır.

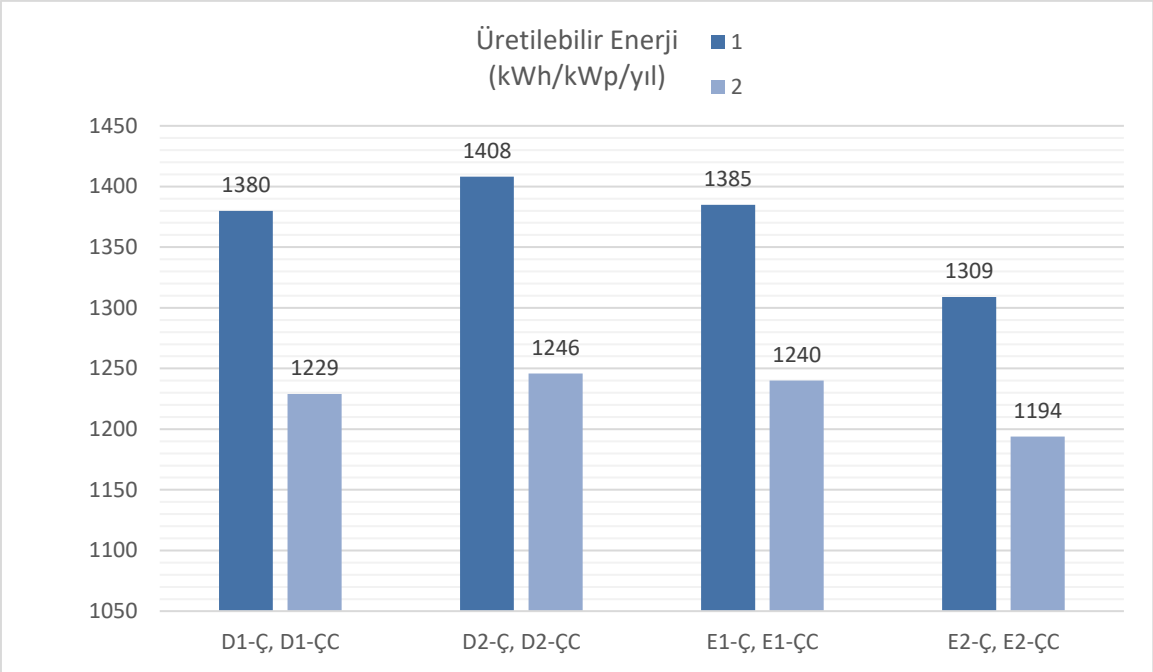


	Toplam Üretilen Enerji (D1-Ç,D1-ÇC)	Toplam Üretilen Enerji (D2-Ç,D2-ÇC)	Toplam Üretilen Enerji (E1-Ç, E1-ÇC)	Toplam Üretilen Enerji (E2-Ç, E2-ÇC)
1	155514	158730	242066	228882
2	203519	206352	290899	280095

Şekil 6.8. Çatı ve çatı+cephe yerleşimine göre toplam üretilen enerji (kwh/yıl)

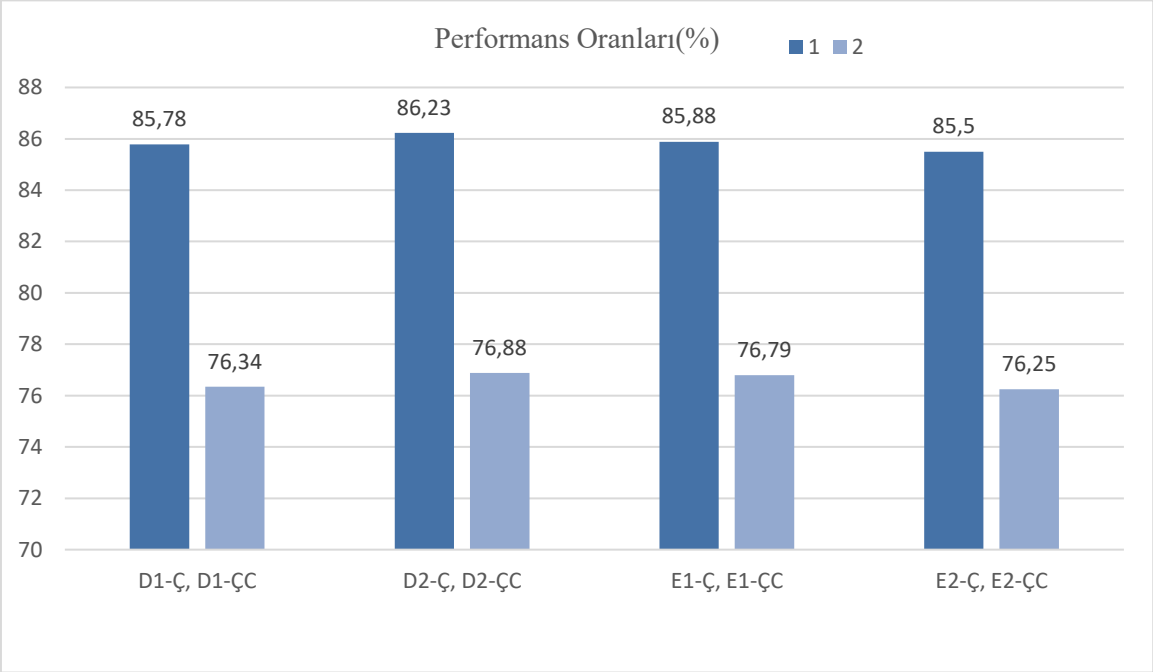
Toplam üretilen enerji çatı ve çatı+cephe yerleşimine göre incelendiğinde cephe dahil olan okulların üretilen enerji miktarlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Her ihtimal yaklaşık aynı oranda bir artış söz konusu olmuştur. Cephede kullanılan PV paneller enerji verimini artırmaktadır.

D1 ve D2 binaları incelendiğinde en yüksek toplam üretilen enerji D2-ÇC, E1 ve E2 binaları incelendiğinde en yüksek toplam üretilen enerji E1-ÇC'de olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.8).



Şekil 6.9. Çatı ve çatı+cephe yerleşimine göre üretilebilir enerji (kwh/kwp/yıl)

Üretilebilir enerji kıyaslandığında çatı ve cepheye birlikte panel yerleşimi yapılan okullarda üretilebilir enerji miktarlarında bir düşüş olduğu gözlenmiştir. D1 ve D2 binaları incelendiğinde en yüksek üretilebilir enerjinin D2-Ç, E1 ve E2 binaları incelendiğinde en yüksek üretilebilir enerjinin E1-Ç'de olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.9., Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Çatı ve çatı+cephe yerleşimine göre performans oranları (%)

Performans oranlarına bakıldığında, üretilebilir enerji ile aynı sonucun elde edildiği görülmektedir. Bu durumun sebebi olarak çatıya düşen güneş enerjisi ile cephelere düşen enerjinin birbirinden farklı olması söylenebilir. Çatı doğrudan ışık alırken cepheler günün belli saatlarinde ışık alıp ona göre verim elde edilmektedir. Bu durum da üretilebilir enerji miktarını etkilemektedir. Fakat yine de toplam üretilen enerjiyi artırıyor olması sebebiyle cephelerde PV panel kullanımı önemlidir.

6.3. Maliyet Hesabının Yapılması

Bu bölümde toplam üretilen elektrik maliyeti, konstrüksiyon maliyeti, toplam maliyet ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri her modelin konstrüksiyon ve panel maliyetinin sağladığı kazanca oranlanmasıyla hesaplanmış ve sonuç yıl cinsinden ifade edilmiştir.

Çizelge 6.2. Toplam üretilen elektrik maliyeti

Toplam Üretilen Elektrik Maliyeti						
Modeller	Üretilen Elektrik Miktarı (Kwh/yıl)	Aktif enerji bedeli (TL/kWh) (Birim fiyat: 3,068350)	Dağıtım bedeli (TL/kWh) (Birim fiyat: 1,395844)	KDV (%20)	Elektrik ve hava tüketim vergisi (%5)	Toplam kazanılan tutar (tl/yıl)
D1-Ç	155514	477.171,38	217.073,28	95.434,28	23.858,57	813.537,51
D1-ÇC	203519	624.467,52	284.080,78	124.893,50	31.223,38	1.064.665,18
D2-Ç	158730	487.039,20	221.562,32	97.407,84	24.351,96	830.361,31
D2-ÇC	206352	633.160,16	288.035,20	126.632,03	31.658,01	1.079.485,40
E1-Ç	242066	742.743,21	337.886,37	148.548,64	37.137,16	1.266.315,39
E1-ÇC	290899	892.579,95	406.049,62	178.515,99	44.629,00	1.521.774,56
E2-Ç	228882	702.290,08	319.483,57	140.458,02	35.114,50	1.197.346,17
E2-ÇC	280095	859.429,49	390.968,93	171.885,90	42.971,47	1.465.255,79

Maliyet hesabı yapılırken öncelikle PVsyst programı analiz sonuçları kullanılarak toplam üretilen elektrik maliyeti hesaplanmıştır. Çizelge 6.2. de belirtilen, üretilen elektrik miktarı PVsyst programından elde edilen veriler kullanılmıştır. Aktif enerji bedeli ve dağıtım bedeli okul binaları için ticarethane (kamu binaları, özel sektörler) olarak seçilmiştir. 2024 birim fiyatlar kullanılarak aktif enerji bedeli ve dağıtım bedeli hesap edilmiştir. Bu verilere KDV (%20), elektrik ve hava tüketim vergisi (%5) eklenmiştir. Toplam kazanılan tutar bu veriler doğrultusunda elde edilmiştir. En yüksek kazanç D1, D2 tipleri için D2-ÇC tipinde, E1, E2

tipleri için E1-ÇC tipinde elde edilmiştir. Çatı modellerinde çatı+cephe modellerine göre daha az enerji üretildiğinden toplam kazanılan tutar da daha düşük olmuştur.

Çizelge 6.3. Konstrüksiyon maliyeti

Konstrüksiyon Maliyeti		
Modeller	Alüminyum profil (kg)	Maliyet (TL) (Birim fiyat: 183,05)
D1-Ç	5805,18	1.062.638,20
D1-ÇC	11774,22	2.155.270,97
D2-Ç	5805,18	1.062.638,20
D2-ÇC	11774,22	2.155.270,97
E1-Ç	7748,04	1.418.278,72
E1-ÇC	14618,29	2.675.877,98
E2-Ç	7748,04	1.418.278,72
E2-ÇC	14618,29	2.675.877,98

Konstrüksiyon maliyeti çatı ve cepheye yerleştirilen paneller için ayrı hesaplanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan pozlar arasından alüminyum taşıyıcı pozu olan 25.178.2002 pozu seçilmiş ve hesaplar bu doğrultuda yapılmıştır. Pozun açılımı "Alüminyum profilden güneş enerji sistemleri taşıyıcıları" olup, makine tesisatı pozudur. 2024 güncel fiyatı 183,05 olarak yayınlanmıştır. Birim fiyat için kullanılan birim kg'dır.

Alüminyum profil ağırlığının nasıl hesaplandığı 5.5 bölümünde anlatılmıştır. Profiller her sistem için tek tip profil kullanılacak şekilde hesaplanmıştır. Maliyet ise alüminyum profil ağırlığı ile birim fiyat maliyeti çarpılarak bulunmuştur (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.4. Toplam maliyet

Toplam Maliyet						
Modeller	Üretilen Elektrik		Panel (Birim fiyat: 7380,00)		Konstrüksiyon Maliyeti (TL)	Toplam Maliyet (TL)
	Miktarı (Kwh/yıl)	TL karşılığı (TL/Yıl)	Panel Sayısı	TL karşılığı (TL/Yıl)		
D1-Ç	155514	813.537,51	196,00	1.446.480,00	1.062.638,20	2.509.118,20
D1-ÇC	203519	1.064.665,18	288,00	2.125.440,00	2.155.270,97	4.280.710,97
D2-Ç	158730	830.361,31	196,00	1.446.480,00	1.062.638,20	2.509.118,20
D2-ÇC	206352	1.079.485,40	288,00	2.125.440,00	2.155.270,97	4.280.710,97
E1-Ç	242066	1.266.315,39	304,00	2.243.520,00	1.418.278,72	3.661.798,72
E1-ÇC	290899	1.521.774,56	408,00	3.011.040,00	2.675.877,98	5.686.917,98
E2-Ç	228882	1.197.346,17	304,00	2.243.520,00	1.418.278,72	3.661.798,72
E2-ÇC	280095	1.465.255,79	408,00	3.011.040,00	2.675.877,98	5.686.917,98

Çizelge 6.4. ile üretilen elektrik, panel, konstrüksiyon maliyeti toplamı hesaplanmıştır. Panel maliyeti 35.200.1446 pozu olan, “En az 108 hücreli, en az 570 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel” kullanılmıştır. Panel pozunun birimi adettir ve panel sayıları üzerinden panel maliyeti hesaplanmıştır. 2024 poz fiyatı 7380 tl’dir. Toplam maliyet konstrüksiyon ve panel maliyeti toplamından bulunmuştur. Sonuçlara bakıldığında D1 ve D2, E1 ve E2 eşit toplam maliyette çıkmıştır. Aynı panel ve konstrüksiyon maliyetine sahiplerdir. Yalnızca üretilen elektrik maliyeti farklı yönelime sahip olduklarından farklı çıkmıştır. Çatı ve çatı+cephe bakımından karşılaştırıldığında çatı+cephe modellerinin daha yüksek maliyette çıktığı görülmüştür.

Çizelge 6.5. Geri ödeme süresi

Geri Ödeme Süresi			
Modeller	Üretilen Elektrik (TL)	Maliyet (TL)	Geri Ödeme Süresi
D1-Ç	813.537,51	2.509.118,20	3,08
D1-ÇC	1.064.665,18	4.398.790,97	4,13
D2-Ç	830.361,31	2.509.118,20	3,02
D2-ÇC	1.079.485,40	4.398.790,97	4,07
E1-Ç	1.266.315,39	3.543.718,72	2,80
E1-ÇC	1.521.774,56	5.686.917,98	3,74
E2-Ç	1.197.346,17	3.543.718,72	2,96
E2-ÇC	1.465.255,79	5.686.917,98	3,88

Çizelge 6.5. ile üretilen elektrik ve toplam maliyet üzerinden geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Hesaplanan geri ödeme süreleri yıl cinsindendir. Çizelge 6.4. ile bulunan maliyet üretilen elektrik maliyeti ile kıyaslanıp sonuç tespit edilmiştir. D1 ve D2 modelleri kıyaslandığında en uzun geri ödeme süresi D1-ÇC olduğu, E1 ve E2 kıyaslandığında en uzun geri ödeme süresi E2-ÇC olduğu görülmüştür. Çatı+cephe modellerinde tüm alternatiferde daha uzun geri ödeme süresi bulunmuştur.

6.4. Bulguların Mevcut Yapılar Doğrultusunda Değerlendirilmesi

Mevcut yapıların enerji tüketim değerleri Bölüm 5.5. ile analiz edilmiştir. Bu bölümde yer alan bulgular, mevcut yapıların enerji performanslarını değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Bu bölümdeki bulgular mevcut yapılar doğrultusunda değerlendirilecektir. Her binada üretilen elektrik enerjisi ile binaların yıllık elektrik tüketimi miktarı bu bölümde kıyaslanmıştır.

Çizelge 6.6. Kombinasyonların ürettiği enerji miktarının bina yıllık enerji tüketimine oranı

Kombinasyonların Ürettiği Enerji Miktarının Bina Yıllık Enerji Tüketimine Oranı			
Kombinasyon	Üretilen Elektrik	Elektrik Tüketimi	Üretilen Elektrik/Elektrik Tüketimi
D1-Ç	155514	22992,42	6,76
D1-ÇC	203519	22992,42	8,85
D2-Ç	158730	41884,48	3,79
D2-ÇC	206352	41884,48	4,93
E1-Ç	242066	29269,04	8,27
E1-ÇC	290899	29269,04	9,94
E2-Ç	228882	20826,32	10,99
E2-ÇC	280095	20826,32	13,45

Mevcut yapıların enerji tüketim değerleri Bölüm 5.5. ile analiz edilmiştir. Çizelge ile kombinasyonların ürettiği enerji miktarının bina yıllık enerji tüketimine oranı hesaplanmıştır. Hesaplamalar yıllık değerler üzerinden elde edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında üretilen elektrik değerleri elektrik tüketimden fazla olduğu görülmüştür. En düşük değerler D2 binasında görülmüştür. Bunun temel sebebi, bu binanın enerji üretimi açısından zayıf bir performans göstermesinin yanı sıra, yıllık elektrik tüketiminin diğer yapılara oranla oldukça yüksek seviyede olmasıdır. En yüksek değerler ise E2 binasında hesap edilmiştir (Çizelge 6.6).

Yapılan bu analizler, mevcut yapıların enerji üretim ve tüketim dengesini anlamak için oluşturulmuştur. Üretien elektrik miktarları maksimum düzeyde yerleştirilmeye çalışılmış, bina tüketiminden yüksek oranda verim elde edilmiştir.

7. SONUÇ

Günümüzde artan enerji talebi ve fosil yakıt kullanımının çevresel etkileri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu kaynaklar arasında güneş enerjisi, temiz, sürdürülebilir ve çevre dostu yapısıyla öne çıkmaktadır. Güneş enerjisinin etkin bir şekilde kullanımı için geliştirilen fotovoltaik (PV) paneller, elektrik üretiminde karbon salınımını ortadan kaldırarak enerji dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır. PV paneller, farklı yüzeylere uygulanabilirlikleri sayesinde bina çatılarından açık araziye kadar geniş bir kullanım alanı sunar. Özellikle kentsel alanlarda bina çatıları ve cepheler, sınırlı yerleşim alanlarına rağmen PV paneller için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Eğitim binaları gibi geniş çatılara sahip yapılar, PV panellerin uygulanabilirliği açısından hem uygun hem de çevresel bilinci artırmak için sembolik bir değer taşır.

Çalışma kapsamında ilk olarak, MEB'in enerji politikalarına altlık olması amacıyla Dünya'dan ve Türkiye'den örnekler incelenmiştir. MEB'in politikalarında bina yenileme çalışmalarına öncelik verildiğinden örnek projeler bu kapsamda seçilmiştir. School of the Future, New Building Institute (NBI), Kamu Binalarında Enerji Verimliliği (KABEV) projelerinde konu ile ilgili çalışmalar olduğu tespit edilmiştir. Literatürden elde edilen veriler ışığında, eğitim binalarının yenilenme çalışmaları, Dünya'nın ve Türkiye'nin enerji politikalarına dair çalışmaların olduğu görülmüştür. Ancak MEB'in bu konudaki çalışmaları hakkında araştırma boşluğu tespit edilmiş ve bu konu üzerine odaklanılmıştır.

Türkiye'deki enerji politikalarında Milli Eğitim Bakanlığı'nın mimari projeler aracılığı ile gerçekleştirdiği yenilikler araştırılmıştır. Bu doğrultuda Milli Eğitim Bakanlığı'nın "Geçici Koruma Altındaki Suriyelilere Ev Sahipliği Yapan İller İçin Temiz Enerji ve Enerji Verimliliği Önlemleri Projesi" ve "Çevre Dostu Bin Okul Projesi" bulunduğu tespit edilmiştir. Projelerde pasif güneş sistemlerine öncelik verilmiş olsa da, PV panel kullanımı da yer almaktadır.

Kırıkkale ilinde okullarda PV panel kullanımına yönelik bir eksiklik olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, farklı plan tiplerindeki okul binalarının enerji üretimine olan katkısını analiz ederek, mevcut yapılar üzerinde enerji verimliliğini artırmayı hedeflemiştir. Milli Eğitim Bakanlığı'nın enerji iyileştirme projelerine odaklanarak, mevcut binalar için PV panellerin uygunluğu değerlendirilmiş ve yönelim ile plan tipi gibi değişkenlerin etkileri analiz

edilmiştir. Çalışmada öncelikle dikdörtgen plan tipindeki Gazi İlkokulu ve Gürler İlkokulu ile E plan tipindeki Mustafa Kemal Ortaokulu ve Ahmet Taner Kışlalı Ortaokulu seçilmiş; bu yapılar SketchUp, Skelion ve PVsyst yazılımları kullanılarak simüle edilmiştir.

Sonuçlar, PV panellerin enerji üretiminde etkili bir araç olduğunu ve çatı yüzeylerinin bu paneller için en uygun alanlar arasında yer aldığını göstermiştir. Dikdörtgen plan tipindeki binalar için doğu-batı yönelimi, E plan tipinde ise doğu-batı yönelimi daha verimli bulunmuştur. Çatılara ek olarak cephelerde de paneller kullanılmış, ancak cephe panellerinin gölgeleme, açı ve yüzey faktörleri nedeniyle çatılara kıyasla daha düşük verimlilik sunduğu tespit edilmiştir. Modeller arasında yapılan karşılaştırmada, dikdörtgen plan tipindeki binaların daha yüksek enerji üretim kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm modellerde, performans oranlarının kış aylarında, üretilen toplam enerjinin yaz aylarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, güneş radyasyonunun yıl içindeki değişimi ve okulların tatil dönemindeki enerji ihtiyacı düşüklüğü ile açıklanabilir.

Toplam üretilen elektrik maliyeti, konstrüksiyon maliyeti, toplam maliyet ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri her modelin konstrüksiyon ve panel maliyetinin sağladığı kazanca oranlanmasıyla hesaplanmış ve sonuç yıl cinsinden ifade edilmiştir.

Toplam kazanılan tutarda en yüksek kazanç D1, D2 tipleri için D2-ÇC tipinde, E1, E2 tipleri için E1-ÇC tipinde elde edilmiştir. Çatı modellerinde çatı+cephe modellerine göre daha az enerji üretildiğinden toplam kazanılan tutar da daha düşük olmuştur.

D1 ve D2 modelleri kıyaslandığında en uzun geri ödeme süresi D1-ÇC olduğu, E1 ve E2 kıyaslandığında en uzun geri ödeme süresi E2-ÇC olduğu görülmüştür. Çatı+cephe modellerinde tüm alternatiferde daha uzun geri ödeme süresi bulunmuştur.

Her binada üretilen elektrik enerjisi ile binaların yıllık elektrik tüketimi miktarı hesaplanmıştır. Sonuçlara bakıldığında üretilen elektrik değerleri elektrik tüketimden fazla olduğu görülmüştür. En düşük değerler D2 binasında görülmüştür. En yüksek değerler ise E2 binasında hesap edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları, Türkiye gibi güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkelerde PV panellerin mevcut eğitim binalarında uygulanabilirliğinin enerji verimliliği açısından büyük önem

taşıdığını ortaya koymaktadır. Eğitim binaları, geniş çatı yüzeyleri sayesinde PV paneller için önemli bir altyapı sunarken, bu tür uygulamalar çevresel bilinci artırmak ve karbon ayak izini azaltmak adına da örnek teşkil etmektedir. Özellikle Kırıkkale gibi güneş radyasyonu seviyesi yüksek bölgelerde, uygun yönelim ve plan tipleri ile optimize edilmiş PV sistemlerinin enerji verimliliğine katkısı belirgin şekilde artmaktadır. Bu bağlamda, PV sistemlerinin eğitim binalarına entegrasyonu, hem enerji tüketimini azaltma hem de yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etme açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Çalışma, farklı bina tipolojilerindeki, farklı yönelimlerdeki PV sistem performanslarının detaylı analizine dayalı olarak, eğitim binalarının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına katkı sağlamaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, farklı iklim bölgelerindeki eğitim binalarının enerji verimliliği üzerine daha geniş çaplı analizler yapılması faydalı olacaktır. Özellikle, güneş enerjisi potansiyelinin düşük olduğu bölgelerde alternatif yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu üzerine odaklanılabilir. Ayrıca, farklı bina özellikleri ve kullanım senaryolarına göre PV sistemlerinin daha detaylı ekonomik analizleri gerçekleştirilebilir. Bu tür çalışmalar, güneş enerjisinin yanı sıra enerji depolama sistemlerinin de kullanımını içeren entegre çözümler geliştirilmesine olanak tanıyacaktır. Ayrıca, eğitim binalarındaki enerji verimliliği çalışmalarının sosyal ve eğitimsel etkileri üzerine yapılan araştırmalar, çevresel bilincin artırılması adına daha etkili stratejilerin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Altbaishat, M. (2017). *Challenges and opportunities of architectural integration of photovoltaic panels into building skin in Istanbul*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 68-78.

Ang, Y. O. (2022). *Using urban building energy modeling to develop carbon reduction pathways for cities*. Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 28-36.

Ashmawy, R. E., Azmy, N. Y. (2017). *Buildings orientation and its impact on the energy consumption*. Master Thesis, Faculty of Engineering, Tanta University, Tanta, Egypt.

Bakkal, S. (2019). *Eğitim binalarında çift kabuk cephe sistemleri kullanımlarına bağlı enerji etkin iyileştirme önerileri*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 102-108.

Basnet, A. (2012). *Architectural integration of photovoltaic and solar thermal collector systems into buildings*. Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 103-108.

Bilgiç, S. (2003). *Passive solar design strategies for buildings: A case study on improvement of an existing residential building's thermal performance by passive solar design tools*. Master Thesis, İzmir Institute of Technology Faculty of Architecture, İzmir, 145-162.

Bougiatioti, F., Michael, A. (2015). The architectural integration of active solar systems: Building applications in the Eastern Mediterranean region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 966-982.

Casillas, F. J. A. (2017). *Study of yield performance for different PV static and dynamic system orientation topologies*. Master Thesis, Delft University, Delft, 85-93.

Custódio, I., Quevedo, T., Melo, A. P. and Rüther, R. (2022). A holistic approach for assessing architectural integration quality of solar photovoltaic rooftops and shading devices. *Solar Energy,* 237, 432-446.

Çelik, A. (2022). *Soğuk iklim bölgelerinde yaklaşık sıfır enerji bina (nZEB) konseptinin bir eğitim binası için çok kriterli karar verme yöntemleriyle incelenmesi*. Doktora Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 36-48.

ÇSB. (2021). *Bina sektörü enerji verimliliği teknoloji atlası*. Ankara: Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, 78-92.

Da Costa Duarte, D. C., Rosa-Jiménez, C. (2022). Cost-optimal nZEB reform strategies and the influence of building orientation for Mediterranean university buildings: Case study of the University of Málaga. *Heliyon*, 8(3), e09020.

Dabbagh, N. (2015). *Football stadium: Solar envelope as an architectural tool*. Master Thesis, Delft University of Technology Faculty of Architecture, Netherlands, 122-135.

Demir, M. (2015). *Dış duvara sonradan tespit edilen fotovoltaik panellerin performansının deneysel olarak değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 45-62.

Eker, B. S. (2019). *Güneş panelleri için optimum eğim açısının belirlenmesi, rüzgarın soğutma etkisinin verime etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 22-36.

Gao, Y. (2019). *Photovoltaic windows: Theories, devices and applications*. Doctoral Dissertation, Delft University of Technology, Delft, 122-136.

Ghosh, A. (2020). Potential of building integrated and attached/applied photovoltaic (BIPV/BAPV) for adaptive less energy-hungry building's skin: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124319.

Gündüz, M. F. (2022). *Yüksek yapılarda fotovoltaik panel kullanımının cephe bağlamında incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 88-93.

Haghighi, Z. (2022). *Architectural photovoltaic application*. New York: BK Books, 38-45.

Hestnes, G. (1999). Building integration of solar energy systems. *Solar Energy,* 67(4–6), 181-187.

Hwang, T., Kang, S., Kim, J. T. (2012). Optimization of the building integrated photovoltaic system in office buildings—Focus on the orientation, inclined angle and installed area. *Energy and Buildings,* 46, 92-104.

İnternet: From Zero to Hero (2021), Web: https://fromzerotohero.gazi.edu.tr/site/wp-content/uploads/2021/09/Modul-7-ENERJI-VERIMLILIGINI-KONU-ALAN-1.pdf Son Erişim Tarihi: 25.05.2024.

İnternet: 81 İl İçin Önerilen Güneş Paneli Eğim Açısı (2024), Web: https://aydinlatma.org/81-il-icin-onerilen-gunes-paneli-egim-acisi.html Son Erişim Tarihi: 25.05.2024.

İnternet: Alüminyum ağırlık hesaplama (2024), Web: https://aluminyumburada.com/aluminyum-agirlik-hesaplama Son Erişim Tarihi: 10.12.2024

İnternet: Bhatia, A. (2008). *Design and sizing of solar photovoltaic systems*. Web: https://www.cedengineering.com/userfiles/R08-002%20-%20Design%20and%20Sizing%20of%20Solar%20Photovoltaic%20Systems%20-%20US.pdf, Son Erişim Tarihi: 26/08/2024.

İnternet: Binalarda Yenilenebilir Enerji Zorunluluğu (2022), Web: https://www.ecobuild.com.tr/post/binalarda-yenilenebilir-enerji-zorunlulu%C4%9Fu-1-ocak-2023-da-ba%C5%9Fl%C4%B1yor Son Erişim Tarihi: 25.05.2024.

İnternet: Edelman, M., Lundgren, M. and Nagel, K. (2012). *Report T.41.A.2: IEA SHC Task 41 Solar energy and architecture, solar energy systems in architecture*. Web: https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March20131.pdf, Son Erişim Tarihi: 28/10/2024.

İnternet: EKAP İhale Arama (2024), Web: https://ekap.kik.gov.tr/EKAP/Ortak/IhaleArama/index.html Son Erişim Tarihi: 25.05.2024.

İnternet: EMBER (2023), Türkiye'nin Enerji Görünümü 2023, Web: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/türkiyenin_enerji_görünümü_kitap.pdf, Son Erişim Tarihi: 17/08/2024.

İnternet: Geçici koruma altındaki Suriyelilere ev sahipliği yapan iller için temiz enerji ve enerji verimliliği projesi, Web: https://iegm.meb.gov.tr/www/gecici-koruma-altindaki-suriyelilere-ev-sahipligi-yapan-iller-icin-temiz-enerji-ve-enerji-verimliligi-onlemleri-projesi/icerik /469 Son Erişim Tarihi: 07.12.2023.

İnternet: GEPA (2024), Web: https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/, Son Erişim Tarihi: 25.05.2024.

İnternet: Güneş Elektrikli Fotovoltaik Modüller (2024), Web: http://www.solardirect.com/pv/pvlist/pvlist.htm Son Erişim Tarihi: 25.05.2024.

İnternet: Güneş Enerjisi Küresel Piyasa Görünümü 2024 Raporu (2024), Web: https://www.machingo.com/gunes-enerjisi-kuresel-piyasa-gorunumu-2024-raporu-yayinlandi/#:~:text=Rapora%20g%C3%B6re%2C%20ge%C3%A7en%20y%C4%B1l%C4%B1n%20sonunda,5%2C1%20terawata%20ula%C5%9Fmas%C4%B1%20bekleniyor.

İnternet: IPCC. (2011), Direct Solar Energy. Web: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Chapter-3-Direct-Solar-Energy-1.pdf , Son Erişim Tarihi: 26/08/2024.

İnternet: IRENA (2019). Future Of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Abu Dhabi. Web: https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic, Son Erişim Tarihi: 22/03/2024.

İnternet: IRENA, (2023), Global landscape of renewable energy finance 2023, Web: https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-landscape-of-renewable-energy-finance-2023?utm_source=chatgpt.com, Son Erişim Tarihi: 28/06/2024.

İnternet: Jeolojik Yapı, (2024). Web: http://www.kirikkale.gov.tr/jeolojik-yapi-iklim#:~:text=K%C4%B1r%C4%B1kkale%20ili%20%C4%B1l%C4%B1man%20iklim%20ku%C5%9Fa%C4%9F%C4%B1nda,12%2C5%20%C2%BAC'%20dir. Son Erişim Tarihi: 25.05.2024.

İnternet: Kurulu Güç Raporları (2023). Web: https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari, Son Erişim Tarihi: 25.05.2024.

İnternet: MITEI, The Future of Solar Energy, Web: https://energy.mit.edu/research/future-solar-energy/, Son Erişim Tarihi: 17/09/2024.

İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı. (2022). *Millî eğitim istatistikleri örgün eğitim 2021/'22*. Web: https://sgb.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2022_09/15142558_meb_istatistikleri_orgun_egitim_2021_2022.pdf, Son Erişim Tarihi: 26/08/2024.

İnternet: NREL. (2013). *Advanced energy retrofit guide practical ways to improve energy performance K–12 schools*. Web: https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60913.pdf, Son Erişim Tarihi: 26/08/2024.

İnternet: NREL. (2020). *Plowing through the cost barrier: Zero energy K-12 schools for less*. Web: https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/77414.pdf, Son Erişim Tarihi: 28/05/2024.

İnternet: PWC, (2024), Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi Sektörü, Web: https://www.pwc.com.tr/dunyada-ve-turkiyede-gunes-enerjisi-sektoru, Son Erişim Tarihi: 13/06/2024.

İnternet: PWC, (2021), Türkiye ve Dünyada Güneş Enerjisi Sektörü, Web: https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/enerji/turkiye-ve-dunyada-gunes-enerjisi-sektoru-raporu.pdf, Son Erişim Tarihi: 13/06/2024.

İnternet: REN21, (2022), Renewables 2022 Global Status Report, Web: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf, Son Erişim Tarihi: 13/06/2024.

İnternet: REN21, (2023), Renewables 2023 Global Status Report, Energy Supply, Web: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR-2023_Energy-Supply-Module.pdf, Son Erişim Tarihi: 13/06/2024.

İnternet: SHURA, (2017), Türkiye Enerji Dönüşümü Görünümü, Web: https://shura.org.tr/raporlar/, Son Erişim Tarihi: 28/09/2024.

İnternet: Statistical Review of World Energy report (2022), Web: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf, Son Erişim Tarihi: 12.06.2023.

İnternet: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kamu Binalarının Enerji Verimli Yenilemesine Yönelik Rehber, (2020), Web: https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/kamu-binalarinin-enerji-verimli-yenilemesine-yonelik-rehber-i-99595, Son Erişim Tarihi: 28/09/2024.

İnternet: TMMOB, (2022), Türkiye Enerji Görünümü, Web: https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyenin-enerji-gorunumu-2022, Son Erişim Tarihi: 26/09/2024.

İnternet: TÜBA, (2018), TÜBA-Güneş Enerjisi Teknolojileri Raporu, Web: https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/TÜBA-Güneş%20Enerjisi%20Teknolojileri%20Raporu.pdf Son Erişim Tarihi: 26/09/2024.

Kabir, E., Kumar, P., Kumar, P., Adelodun, A. and Kim, K. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 82(1), 894-900.

Karaca, Ü. B., Uçar, S. (2018). Konut çatı ve cephelerinde farklı fotovoltaik sistem uygulamalarının değerlendirilmesi. *Tujes,* 19(2), 65–76.

Kavaz, İ. (2019). *Sürdürülebilirlik politikaları çerçevesinde enerji verimliliği*. İstanbul: SETA Vakfı Yayınları, 28-45.

Kaya, G. N. (2022). *Aktif güneş sistemlerinin bina cepheleri ile bütünleşik tasarım yaklaşımları bağlamında değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Ensitütüsü, Ankara, 78-95.

Kazancı, S., Samancı, A. (2021). Overview a nearly zero energy building. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 8(3), 154-168.

Kılıç Demircan, R., Gültekin, A. B. (2017). Binalarda pasif ve aktif güneş sistemlerinin incelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi,* 10(1), 36-51.

Köksal, T. (2018). *Enerji etkinliği açısından bir ilköğretim binasının aktif ve pasif sistem olarak performansının değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 66-78.

Mathew, B. A. A. (2010). *Identifying opportunities and obstacles for the use of solar energy in commercial office buildings in the northeastern region of the United States*. Master Thesis, Rochester Institute of Technology, Rochester, 78-96.

Ovuz, K. (2018). *Kırıkkale çevre şartlarında sıcaklıklığın polikristal fotovoltaik panelin enerji verimliliği üzerine etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 38-48.

Panicker, K., Anand, P., George, A. (2023). Assessment of building energy performance integrated with solar PV: Towards a net zero energy residential campus in India. *Energy and Buildings,* 281, 112736.

Reffat, R. M., Ezzat, R. (2023). Impacts of design configurations and movements of PV attached to building facades on increasing generated renewable energy. *Solar Energy,* 252, 50-71.

Sadatifar, S. (2020). *Geometry optimization of building-integrated photovoltaic sunshade*. Master Thesis, The University of Western Ontario, Electronic Thesis and Dissertation Repository, 12-22.

Vassiliades, C., Kalogirou, S., Michael, A. and Savvides, A. (2019). A roadmap for the integration of active solar systems into buildings. *Applied Sciences,* 9(12), 2462.

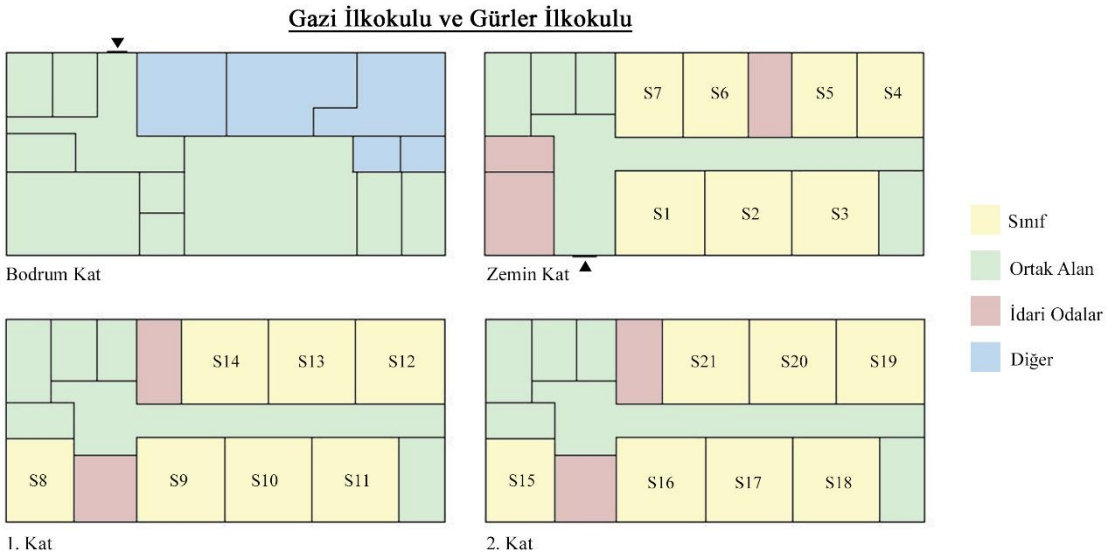
Yanardağ, H. M. (2015). *Farklı bina formlarında güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliği açısından değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 45-63.

Yoon, S. D., Vuthy, S., Choi, H. S. (2021). Design of solar modules for building façades at educational facilities in Korea. *Energies,* 14, 2441.

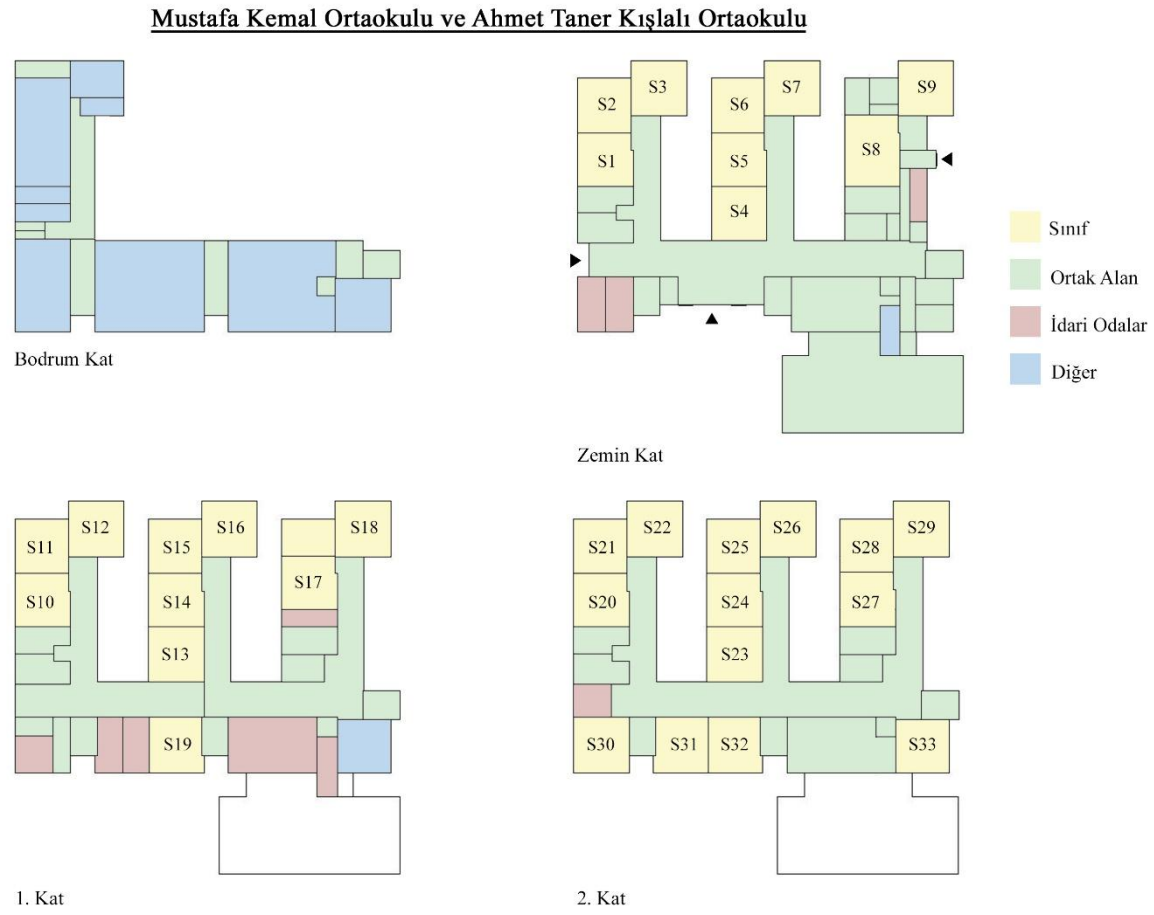
Zhang, A., Bokel, R., Van den Dobbelsteen, A., Sun, Y., Huang, Q. and Zhang, Q. (2017). The effect of geometry parameters on energy and thermal performance of school buildings in cold climates of China. *Sustainability*, 9(10), 1708.

EKLER

EK-1. Seçilen okulların plan tipleri



Şekil 1.1. Dikdörtgen plan tipindeki okullar

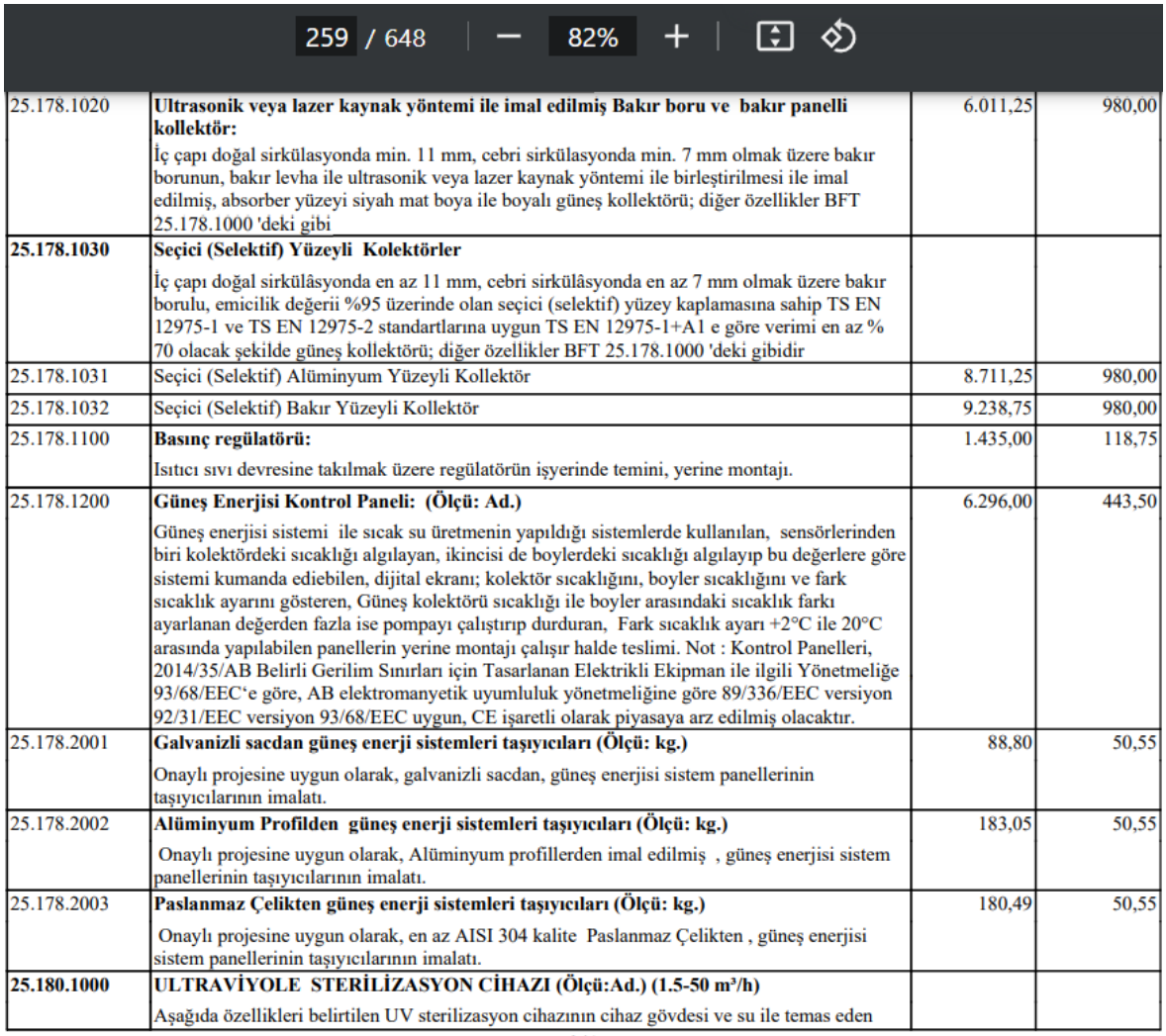


Şekil 1.2. E plan tipindeki okullar

EK-1. (devam) Seçilen okulların plan tipleri

Okulların plan tiplerine ait diyagramlar Şekil 1.1., Şekil 1.2. ile gösterilmiştir. Dikdörtgen plan tipine ait okullardaki derslik sayısı 21, E plan tipine ait okullardaki derslik sayısı 33'dür. Plan diyagramlarına projelerin daha net anlaşılması adına yer verilmiştir. Tiplerin plan tiplerinde oda yerleri ve çeşitlerinde bir değişlik bulunmamaktadır.

EK-2. ÇSB birim fiyat kitabından 25.178.2002 ve 35.200.1446 pozları

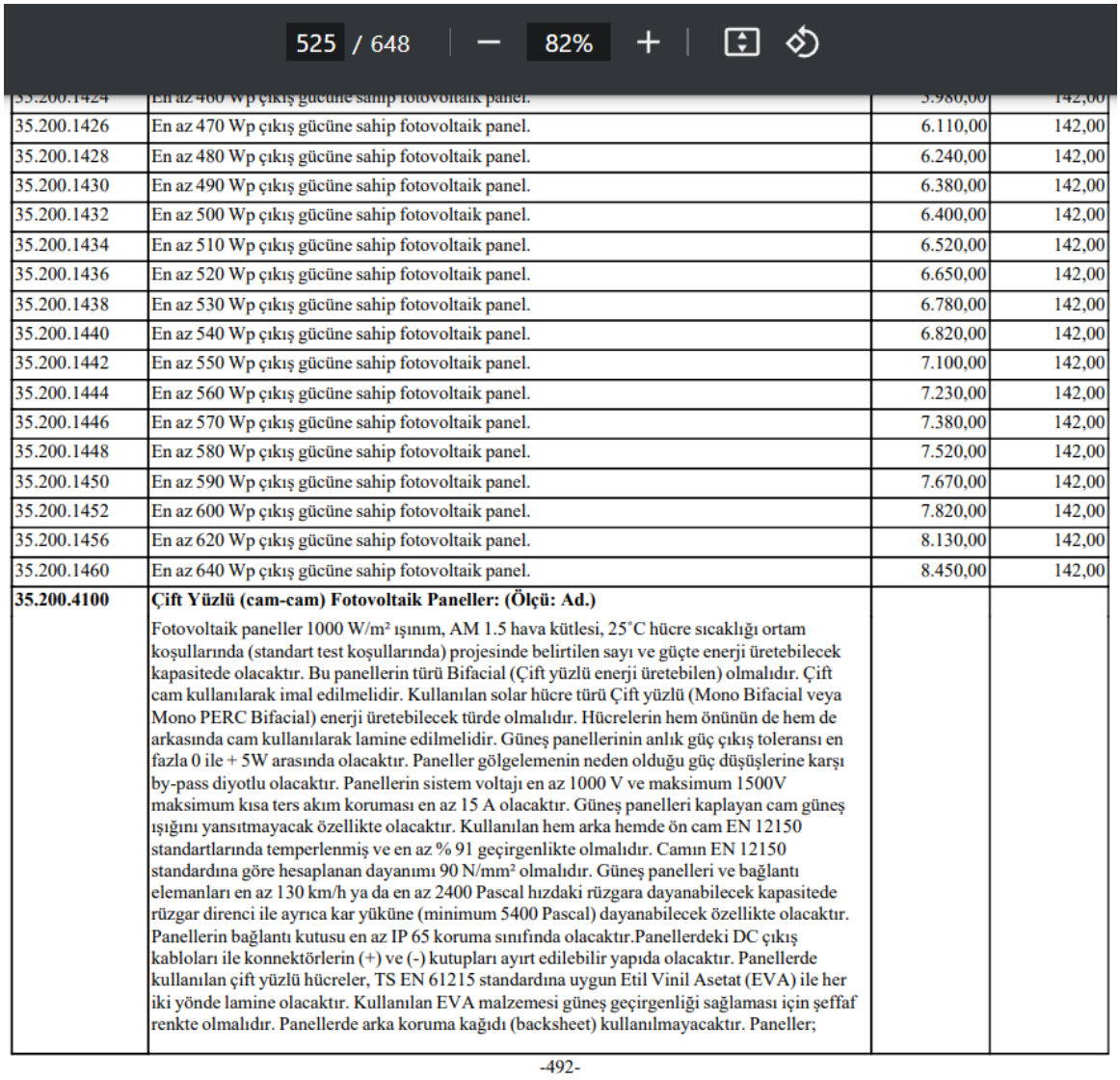


25.178.1020	**Ultrasonik veya lazer kaynak yöntemi ile imal edilmiş Bakır boru ve bakır panelli kollektör:** İç çapı doğal sirkülasyonda min. 11 mm, cebri sirkülasyonda min. 7 mm olmak üzere bakır borunun, bakır levha ile ultrasonik veya lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ile imal edilmiş, absorber yüzeyi siyah mat boya ile boyalı güneş kollektörü; diğer özellikler BFT 25.178.1000 'deki gibi	6.011,25	980,00
25.178.1030	**Seçici (Selektif) Yüzeyli Kolektörler** İç çapı doğal sirkülâsyonda en az 11 mm, cebri sirkülâsyonda en az 7 mm olmak üzere bakır borulu, emicilik değerii %95 üzerinde olan seçici (selektif) yüzey kaplamasına sahip TS EN 12975-1 ve TS EN 12975-2 standartlarına uygun TS EN 12975-1+A1 e göre verimi en az % 70 olacak şekilde güneş kollektörü; diğer özellikler BFT 25.178.1000 'deki gibidir		
25.178.1031	Seçici (Selektif) Alüminyum Yüzeyli Kollektör	8.711,25	980,00
25.178.1032	Seçici (Selektif) Bakır Yüzeyli Kollektör	9.238,75	980,00
25.178.1100	**Basınç regülatörü:** Isıtıcı sıvı devresine takılmak üzere regülatörün işyerinde temini, yerine montajı.	1.435,00	118,75
25.178.1200	**Güneş Enerjisi Kontrol Paneli: (Ölçü: Ad.)** Güneş enerjisi sistemi ile sıcak su üretmenin yapıldığı sistemlerde kullanılan, sensörlerinden biri kolektördeki sıcaklığı algılayan, ikincisi de boylerdeki sıcaklığı algılayıp bu değerlere göre sistemi kumanda ediebilen, dijital ekranı; kolektör sıcaklığını, boyler sıcaklığını ve fark sıcaklık ayarını gösteren, Güneş kolektörü sıcaklığı ile boyler arasındaki sıcaklık farkı ayarlanan değerden fazla ise pompayı çalıştırıp durduran, Fark sıcaklık ayarı +2°C ile 20°C arasında yapılabilen panellerin yerine montajı çalışır halde teslimi. Not : Kontrol Panelleri, 2014/35/AB Belirli Gerilim Sınırları için Tasarlanan Elektrikli Ekipman ile ilgili Yönetmeliğe 93/68/EEC'e göre, AB elektromanyetik uyumluluk yönetmeliğine göre 89/336/EEC versiyon 92/31/EEC versiyon 93/68/EEC uygun, CE işaretli olarak piyasaya arz edilmiş olacaktır.	6.296,00	443,50
25.178.2001	**Galvanizli sacdan güneş enerji sistemleri taşıyıcıları (Ölçü: kg.)** Onaylı projesine uygun olarak, galvanizli sacdan, güneş enerjisi sistem panellerinin taşıyıcılarının imalatı.	88,80	50,55
25.178.2002	**Alüminyum Profilden güneş enerji sistemleri taşıyıcıları (Ölçü: kg.)** Onaylı projesine uygun olarak, Alüminyum profillerden imal edilmiş , güneş enerjisi sistem panellerinin taşıyıcılarının imalatı.	183,05	50,55
25.178.2003	**Paslanmaz Çelikten güneş enerji sistemleri taşıyıcıları (Ölçü: kg.)** Onaylı projesine uygun olarak, en az AISI 304 kalite Paslanmaz Çelikten , güneş enerjisi sistem panellerinin taşıyıcılarının imalatı.	180,49	50,55
25.180.1000	**ULTRAVİYOLE STERİLİZASYON CİHAZI (Ölçü:Ad.) (1.5-50 m³/h)** Aşağıda özellikleri belirtilen UV sterilizasyon cihazının cihaz gövdesi ve su ile temas eden		

-241-

Şekil 2.1. 25.178.2002 pozu

EK-2. (devam) ÇSB birim fiyat kitabından 25.178.2002 ve 35.200.1446 pozları



35.200.1424	En az 460 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	5.980,00	142,00
35.200.1426	En az 470 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	6.110,00	142,00
35.200.1428	En az 480 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	6.240,00	142,00
35.200.1430	En az 490 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	6.380,00	142,00
35.200.1432	En az 500 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	6.400,00	142,00
35.200.1434	En az 510 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	6.520,00	142,00
35.200.1436	En az 520 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	6.650,00	142,00
35.200.1438	En az 530 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	6.780,00	142,00
35.200.1440	En az 540 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	6.820,00	142,00
35.200.1442	En az 550 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	7.100,00	142,00
35.200.1444	En az 560 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	7.230,00	142,00
35.200.1446	En az 570 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	7.380,00	142,00
35.200.1448	En az 580 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	7.520,00	142,00
35.200.1450	En az 590 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	7.670,00	142,00
35.200.1452	En az 600 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	7.820,00	142,00
35.200.1456	En az 620 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	8.130,00	142,00
35.200.1460	En az 640 Wp çıkış gücüne sahip fotovoltaik panel.	8.450,00	142,00
35.200.4100	**Çift Yüzlü (cam-cam) Fotovoltaik Paneller: (Ölçü: Ad.)** Fotovoltaik paneller 1000 W/m² ışınım, AM 1.5 hava kütlesi, 25°C hücre sıcaklığı ortam koşullarında (standart test koşullarında) projesinde belirtilen sayı ve güçte enerji üretebilecek kapasitede olacaktır. Bu panellerin türü Bifacial (Çift yüzlü enerji üretebilen) olmalıdır. Çift cam kullanılarak imal edilmelidir. Kullanılan solar hücre türü Çift yüzlü (Mono Bifacial veya Mono PERC Bifacial) enerji üretebilecek türde olmalıdır. Hücrelerin hem önünün de hem de arkasında cam kullanılarak lamine edilmelidir. Güneş panellerinin anlık güç çıkış toleransı en fazla 0 ile + 5W arasında olacaktır. Paneller gölgelemenin neden olduğu güç düşüşlerine karşı by-pass diyotlu olacaktır. Panellerin sistem voltajı en az 1000 V ve maksimum 1500V maksimum kısa ters akım koruması en az 15 A olacaktır. Güneş panelleri kaplayan cam güneş ışığını yansıtmayacak özellikte olacaktır. Kullanılan hem arka hemde ön cam EN 12150 standartlarında temperlenmiş ve en az % 91 geçirgenlikte olmalıdır. Camın EN 12150 standardına göre hesaplanan dayanımı 90 N/mm² olmalıdır. Güneş panelleri ve bağlantı elemanları en az 130 km/h ya da en az 2400 Pascal hızdaki rüzgara dayanabilecek kapasitede rüzgar direnci ile ayrıca kar yüküne (minimum 5400 Pascal) dayanabilecek özellikte olacaktır. Panellerin bağlantı kutusu en az IP 65 koruma sınıfında olacaktır.Panellerdeki DC çıkış kabloları ile konnektörlerin (+) ve (-) kutupları ayırt edilebilir yapıda olacaktır. Panellerde kullanılan çift yüzlü hücreler, TS EN 61215 standardına uygun Etil Vinil Asetat (EVA) ile her iki yönde lamine olacaktır. Kullanılan EVA malzemesi güneş geçirgenliği sağlaması için şeffaf renkte olmalıdır. Panellerde arka koruma kağıdı (backsheet) kullanılmayacaktır. Paneller;		

-492-

Şekil 2.2. 35.200.1446 pozu



Gazili olmak ayrıcalıktır…