MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇATI TİP GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ İLE BESLENEN ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU

TAHSİN BOYEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. İsmail KIYAK

İSTANBUL, 2020

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇATI TİP GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ İLE BESLENEN ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU

TAHSİN BOYEKİN

(523117004)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. İsmail KIYAK

İSTANBUL, 2020

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Tahsin BOYEKİN'in "**Çatı tip güneş enerjisi santrali ile beslenen elektrikli araç şarj istasyonu**" başlıklı tez çalışması, 24 Haziran 2020 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. İsmail KIYAK (Danışman)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Prof. Dr. Bülent ORAL (Üye)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER (Üye)
Kırklareli Üniversitesi ..... (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02/07/2020 tarih ve 2020/15-02 ..... sayılı kararı ile Tahsin BOYEKİN'in Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki katkılarından dolayı değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. İsmail KIYAK'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana gösterdiği sabır ve desteklerinden dolayı değerli eşim Betül BOYEKİN'e özel teşekkürlerimle.

İstanbul, Haziran 2020 Tahsin BOYEKİN

İÇİNDEKİLER

ÖZET vi

ABSTRACT vii

SEMBOLLER viii

KISALTMALAR xii

ŞEKİL LİSTESİ xiv

TABLO LİSTESİ xvii

1. GİRİŞ 1

1.1. Bölüm Özeti 1

1.2. Yenilenebilir Enerji 2

1.2.1. Güneş Enerjisi 2

1.3. Dünyada Yenilenebilir Enerji 5

1.4. Konu ile İlgili Literatür Çalışması 6

1.5. Tezin Amacı 9

2. TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÇALIŞMALARI 10

2.1. Giriş 10

2.2. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Çalışmaları 10

2.3. Rüzgâr Enerjisi 10

2.4. Güneş Enerjisi 12

2.5. Biyokütle Enerjisi 14

2.6. Hidroelektrik Enerji 14

2.7. Jeotermal Enerji 15

2.8. Türkiye Şehir İçi PV uygulamaları 16

3. GÜNEŞ ENERJİSİ/FOTOVOLTAİK VE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR 19

3.1. Giriş 19

3.2. Fotovoltaik Hücre/Modül ve Çeşitleri 19
3.2.1. Kristalin Fotovoltaik Modül 22
3.2.2. İnce-film Fotovoltaik Modül 27
3.3. Elektrikli Araçlar 29
3.3.1. Hibrit Elektrikli Araçlar 30
3.3.2. Yakıt hücreli elektrikli araç 34
3.3.3. Tümü Elektrikli Araçlar 34
3.4. Elektrikli Araç Şarj İstasyonu 35
4. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ 38
4.1. Sabit Sistem 38
4.2. Tek Eksenli Takip Sitemi 39
4.2.1. Manuel Tek Eksenli Takip Sitemi 40
4.2.2. Otomatik Tek Eksenli Takip Sitemi 41
4.3. Çift Eksenli Takip Sitemi 42
4.3.1. Sensörlü Takip Sitemi 42
4.3.2. Matematiksel Takip Sitemi 43
4.3.3. Hibrit Takip Sitemi 43
5. FARKLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN BİNA MONTAJLI PV SANTRAL(BIPV) VE ŞARJ İSTASYONU 44
5.1. Proje Ekipmanları 45
5.1.1. PV Modül 45
5.1.2. Solar İnvertör 48
5.1.3. EV Şarj İstasyonu 52
5.1.4. Kablolar ve konnektör 54
5.1.5. Elektrik Panosu 55

5.1.6. Konstrüksiyon 57
5.1.7. Yazılım/Program 58
5.2. Proje Aşamaları 61
5.2.1. TEDAŞ/Dağıtım Şirketi Gerekli İzinlerin Alınması 61
5.2.2. PV Modül-İnvertör Uyum Hesabı 63
5.2.3. İnşaat Projesi ve Konstrüksiyon 64
5.2.4. Kablo Kesit Hesapları 68
5.2.5. Kısa Devre Hesapları 71
5.2.6. Topraklama Hesabı 73
5.2.7. Diğer Elektrik Malzemeleri Hesapları 74
5.2.8. TEDAŞ Onayı ve Kabul İşleri 76
5.3. Elektrik Sistemi 78
5.3.1. PV Modül Bağlantıları 79
5.3.2. Santral Genel Yerleşim Planı 79
5.3.3. Tek Hat Şeması 80
5.3.4. Topraklama Hesabı Eki 81
5.3.5. Şarj İstasyonu Bağlantıları 81
5.3.6. Şebeke Bağlantıları 82
5.4. Üretilen Enerji Verileri/Grafikleri ve Ekonomik Analiz 83
5.4.1. Üretilen Enerji Verileri/Grafikleri 83
5.4.2. Ekonomik Analiz 86
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 88
6.1. Giriş 88
6.2. Proje Değerlendirmesi 88
6.3. Öneriler 90

6.4. Gelecek Çalışmalar 93
KAYNAKLAR 94
ÖZGEÇMİŞ 98

ÖZET

ÇATI TİP GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ İLE BESLENEN ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU

Enerji, ekonomik büyümenin başlıca unsurudur ve bir ülkenin kalkınması için kilit faktördür. Yıllar içinde, özellikle elektrik enerjisi olmak üzere enerji talebi, insanların artan yaşam standardının yanı sıra sanayileşme, modernleşme ve nüfus artışı nedeniyle artmaktadır. Elektrik enerjisi önemli ölçüde fosil yakıtlardan (petrol, kömür ve doğal gaz) üretilmektedir. Fosil yakıtların yakılması, küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını destekleyen enerji politikaları geliştirilmektedir. Aynı zamanda, fosil yakıtla çalışan araçlar yerine elektrikli araçların kullanılmasının teşvik edilmesi, küresel ısınma ve çevre kirliliğinin kontrolüne yardımcı olabilir.

Bu çalışma, özellikle İstanbul gibi nüfusu 10 milyondan fazla olan şehirlerde, çevrenin korunması amacıyla CO_2 emisyonlarını azaltmayı, düşük maliyetli binaya entegre enerji projelerini desteklemeyi ve yenilenebilir enerji kullanımı bilincini artırmayı amaçlamaktadır. Gerçek zamanlı uygulamaya dayalı üretim verileri ve PV*SOL, PVsyst gibi yazılımlar ile üretim tahmini analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı konumda ve aynı çatı alanına sahip üç binaya sabit açılı, manuel kontrollü takip sistemi ve otomatik güneş takip sistemine sahip üç ayrı güneş enerji santrali kurulmuştur. Bu santrallere şarj istasyonu entegre edilmiş ve elektrikli otomobiller için enerji sağlanmıştır. Sistem, üretilen enerjiyi aktarmak veya gerekli enerjiyi sağlamak için çift yönlü bir sayaç ile şebekeye bağlanmıştır. Enerji üretim değerleri ile ilgili olarak, otomatik güneş takip sistemi, elle kontrol edilen sistem ve sabit açılı sistem gerçek üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Sistemlerin kurulum, işletim maliyetleri ve amortisman süreleri ile ilgili analizler yapılmıştır. Ayrıca bu projede elde edilen sonuçlar ve diğer arazi, çatı GES'lerin projelendirilmesi, kurulumu ve üretim tahmini analizi gibi konularda edinilmiş tecrübeler doğrultusunda bazı önerilerde bulunulmuştur. Bu öneriler, sık yapılan hataların önüne geçmeyi, daha verimli santrallerin kurulmasını sağlamayı ve bu alanda akademik çalışma yapan kişilere yol gösterici olmayı amaçlamaktadır.

ABSTRACT

ROOFTOP SOLAR POWER PLANT BASED ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION

Energy is the main element of economic growth and is a key factor for a country's development. Over the years, energy demand, especially electrical energy, has been increasing due to the increasing standard of living of people, as well as industrialization, modernization and population growth. Electric energy is produced mainly from fossil fuels (oil, coal and natural gas). Burning fossil fuels causes global warming and environmental pollution. For this reason, energy policies are being developed that support the use of renewable and sustainable energy sources. At the same time, encouraging the use of electric vehicles instead of fossil fuel vehicles can help control global warming and environmental pollution.

This study aims to reduce CO_2 emissions, support low-cost building integrated energy projects and increase the awareness of renewable energy use, especially in cities with a population of more than 10 million, such as Istanbul. Real-time application-based production data and results from software analysis such as PV*SOL, PVsyst were compared. Three separate solar power plants with fixed angle, manually controlled tracking system and automatic solar tracking system were installed in three buildings with the same location and the same roof area. These power plants have integrated charging stations and provided energy for electric cars. Each power plants were connected to the grid with a bidirectional energy meter to transfer the generated energy or supply the required energy. Regarding energy production values, automatic solar tracking system, manually controlled system and fixed angle system actual production values were compared. Analyzes were made regarding the installation, operating costs and depreciation times of the systems. In addition, some suggestions were made in accordance with the results obtained in this project and the experiences gained in other solar power plants projects. These suggestions aim to prevent frequent mistakes, to establish more efficient power plants and to guide people who do academic work in this subject.

SEMBOLLER

A_0 : Doğru akım bileşeni

A_n, B_n : f(t) fonksiyonunun harmonik katsayısı

CP : Maksimum şarj gücü sınırlayıcı sinyal(Control Pilot)

d : Kesit uzunluğu

e : Gerilim düşümü

FF : Doldurma faktörü

f_{max} : Maksimum AC çıkış frekansı

f_{min} : Minimum AC çıkış frekansı

f_r : Nominal AC çıkış frekansı

h : Harmonik derecesi

I : Akım

I_0 : Kablo akım taşıma kapasitesi

I_a : Faz-toprak arıza akımı

I_d : Ters doygunluk akımı

I_D : Katsayılarla düzeltilmiş kablo akım taşıma kapasitesi

I_{chg} : Şarj akımı

I_{k1}'' : Faz-toprak kısa devre akımı

I_{k2}'' : Faz-faz kısa devre akımı

I_{k3}'' : Üç faz kısa devre akımı

I_m : Maximum akım

I_{max} : Maximum akım

I_{mpp} : Nominal akım

I_{ph} : Fotovoltaik hücre akımı

I_{sc} : Kısa devre akımı

$I_{sc(70)}$: 70 °C hücre sıcaklığında kısa devre akımı

$I_{sc(max)}$: Maximum kısa devre akımı

$I_{sc(t)}$: t °C hücre sıcaklığında kısa devre akımı

I_{sh} : Şönt direnç akımı

$I_{TMŞ}$: Termik manyetik şalter akımı

k : Malzeme katsayısı

KT_c/q : Kutup(uç) potansiyeli

k_1, k_2, k_n: Kablo akım taşıma kapasitesi düzeltme katsayıları

k_{Isc} : Akım sıcaklık katsayısı

k_{Pmpp} : Güç sıcaklık katsayısı

k_{Voc} : Gerilim sıcaklık katsayısı

L : Kablo uzunluğu

L- : Negatif kablo uzunluğu

L Top. : Toplam kablo uzunluğu

L+ : Pozitif kablo uzunluğu

L1 : Faz 1

L2 : Faz 2

L3 : Faz 3

M_{max} : Eğilme momenti

N : Nötr

n : İletken devre sayısı

n : Seri bağlı PV modül sayısı

N_d : Diyot idealite faktörü (İdeal bir diyot için; 1)

N_p : Seri bağlı hücre sayısı

N_s : Paralel bağlı hücre sayısı

p : Sistemde kolona gelen maksimum basınç kuvveti

P : Güç

P_{acmax} : Maksimum AC güç

P_{acr} : Nominal güç

PE : Toprak

P_k : Yükte kayıp

P_{max} : Maksimum güç

P_{mpp} : Maksimum nominal güç

PP : Yakınlık pimi(Proximity Pilot)

R_s : PV modülünün seri direnci

R_{sh} : PV modülünün şönt direnci

R_t : Toplam direnç

R_{tr} : Trafo direnci

S : Kesit

$\mathbf{S_n}$: Nominal görünür güç

t : Anlık hücre sıcaklığı

$\mathbf{t_h}$: Hata süresi

$\mathbf{t_{st}}$: Standart test koşullarındaki sıcaklık (25℃ hücre sıcaklığı)

$\mathbf{t_w}$: Kalınlık

U : Gerilim

$\mathbf{\%U_k}$: Yüzde bağıl kısa devre gerilimi

$\mathbf{U_n}$: **N**ominal faz arası gerilim

$\mathbf{\%U_r}$: Yüzde aktif gerilim düşümü

$\mathbf{\%U_x}$: Yüzde reaktif gerilim düşümü

v : Kesme kuvveti

V : Gerilim

$\mathbf{V_{bat}}$: Akü gerilimi

$\mathbf{V_m}$: Maximum gerilim

$\mathbf{V_{max}}$: Maximum gerilim

$\mathbf{V_{mpp}}$: Nominal gerilim

$\mathbf{V_{oc}}$: Açık devre gerilimi

$\mathbf{V_{oc(-10)}}$: -10℃ hücre sıcaklığında açık devre gerilimi

$\mathbf{V_{oc(70)}}$: 70℃ hücre sıcaklığında açık devre gerilimi

$\mathbf{V_{oc(max)}}$: Maksimum açık devre gerilimi

$\mathbf{V_{oc(min)}}$: Minimum açık devre gerilimi

$\mathbf{V_{oc(t)}}$: t ℃ hücre sıcaklığında açık devre gerilimi

$\mathbf{W_x}$: Karşı koyma momenti

$\boldsymbol{x}$: İletkenlik katsayısı

$\mathbf{X_t}$: Toplam reaktans

$\mathbf{X_{tr}}$: Trafo reaktansı

$\mathbf{Z_{(0)}, Z_{(1)}}$: Empedans

$\boldsymbol{\beta}$: Malzeme direncinin sıcaklık katsayısının tersi

$\boldsymbol{\theta_f}$: Son sıcaklık

$\boldsymbol{\theta_i}$: İlk sıcaklık (Genellikle 20℃)

$\boldsymbol{\sigma}$: Eğilme gerilmesi

$\sigma_{çem}$ **:** Baskı dayanımı

τ_0 **:** Kesme gerilmesi

τ_{em} **:** Emniyet gerilmesi

$\Delta v[\%]$ **:** Yüzde gerilim düşümü

$\Delta P(\%)$ **:** Yüzde güç kaybı

KISALTMALAR

BEV : Akülü Elektrikli Araç
BIPV : Bina Montajlı Fotovoltaik Santral
CCTV : Kapalı Devre Televizyon
Cz : Czochralski
D. : Dizi
EPDK : Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
EV / EA : Elektrikli araç
EVA : Etil Vinil Asetat
EVSE : Elektrikli araç tedarik ekipmanı
FCEV : Yakıt hücreli elektrikli araç
GES : Güneş enerji santrali
HEV : Hibrit elektrikli araç
HIT : Heterojonksiyon
ICEV : İçten yanmalı motorlu araç
IEC : International Electrotechnical Commission
İSKİ : İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İYM : İçten yanmalı motor
JARI : Japonya Otomobil Araştırma Enstitüsü
KAKR : Kaçak akım koruma rölesi
LEED : Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
LUY : Lisanssız Üretim Yönetmeliği
MÖ : Milattan önce
MPP : Maksimum güç noktası
MPPT : Maksimum güç noktası takip edici
MS : Milattan sonra
MTEP : Milyon ton eşdeğer petrol
NREL : ABD Enerji Bakanlığı Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
OFF-GRİD : Şebeke bağlantısız
ON-GRİD : Şebeke bağlantılı
OSB : Organize Sanayi Bölgesi

PEV : Saf (Tümü) elektrikli araç
PLC : Programlanabilir lojik kontrolcü
PV : Fotovoltaik
RES : Rüzgâr enerji santrali
RFID : Radyo Frekansı Tanımlaması
RMS : Efektif değer
SAE : Kuzey Amerika Otomotiv Mühendisleri Derneği
TCO : Şeffaf iletken oksit
TEDAŞ : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEPCO : Tokyo Elektrik Enerjisi Şirketi
THD : Toplam harmonik distorsiyon
TMŞ : Termik manyetik şalter
TÜREB : Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
V2G : Çift yönlü şarj (Vehicle to Grid)
YEGM : Yenilenebilir Genel Enerji Müdürlüğü
YEKA : Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Hücre verimlilikleri 4

Şekil 2.1. Santral kurulu güçleri 10

Şekil 2.2. Yıllara göre rüzgâr enerjisi kurulu gücü 11

Şekil 2.3. 2019 yılı enerji ihtiyacının rüzgâr enerjisi santrallerinden karşılanma oranı. 12

Şekil 2.4. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası 13

Şekil 2.5. Dünyada hidroelektrik kurulu güçleri 15

Şekil 2.6. Muğla Menteşe şehirlerarası otogarı 17

Şekil 2.7. Büyükçekmece Gölü yüzer GES / İstanbul 17

Şekil 2.8. Antalya stadyumu 18

Şekil 3.1. FV hücre elektron akışı 19

Şekil 3.2. İlk basit fotovoltaik düzeneği 20

Şekil 3.3. Yıllara göre bazı markaların PV hücre çeşitlerinin verimlilikleri 21

Şekil 3.4. Polikristal Si kimyasal süreç 22

Şekil 3.5. Hücre üretim süreçlerinden bir görüntü 22

Şekil 3.6. Hücrelerin verimlerine göre ayrılması 23

Şekil 3.7. Czochralski (Cz) yöntemi 24

Şekil 3.8. Monokristal hücre 25

Şekil 3.9. Polikristal hücre üretim aşamaları 25

Şekil 3.10. Polikristal hücre 26

Şekil 3.11. Silikon heterojonksiyon (HIT) hücre 26

Şekil 3.12. Bakır indiyum galyum selenid (CIGS) hücre 27

Şekil 3.13. Bakır indiyum galyum selenid (CIGS) hücre üretim aşamaları 28

Şekil 3.14. Enerji kaynağına göre elektrikli araç çeşitleri 31

Şekil 3.15. Seri hibrit elektrikli araç 32

Şekil 3.16. Paralel hibrit elektrikli araç 32

Şekil 3.17. Seri-paralel hibrit elektrikli araç 33

Şekil 3.18. Kompleks hibrit elektrikli araç..... 33

Şekil 3.19. Tümü elektrikli araç 34

Şekil 3.20. EVSE-elektrikli araç bağlantısı..... 35

Şekil 3.21. EVSE-elektrikli araç bağlantısı (DC)..... 36

Şekil 4.1. Sabit konstrüksiyonlu GES. 39

Şekil 4.2. Manuel tek eksenli takip sistemine sahip GES. 40

Şekil 4.3. Otomatik tek eksenli takip sistemine sahip GES üstten ve alttan görünüş. ... 41

Şekil 4.4. Çift eksenli takip sistemine sahip GES 42

Şekil 4.5. Örnek bir sensör 43

Şekil 5.1. Proje taslak gösterimi 44

Şekil 5.2. PV hücre devre şeması 46

Şekil 5.3. PV modül 47

Şekil 5.4. İnvertör montaj şekilleri 49

Şekil 5.5. PV modül I-V karakteristiği..... 50

Şekil 5.6. İnvertör iç bağlantı detayı 50

Şekil 5.7. İnvertör görseli 52

Şekil 5.8. Şarj istasyonu 53

Şekil 5.9. IEC 62196 Standardına uygun ve projede kullanılan priz 53

Şekil 5.10. Kablo çeşitleri ve konnektör 54

Şekil 5.11. Çatı pano 55

Şekil 5.12. PVSyst ve PV*SOL programları 58

Şekil 5.13. AutoCAD arayüzü..... 59

Şekil 5.14. ETAP arayüzü 60

Şekil 5.15. Probina ve SAP2000 ile hazırlanmış modeller. 60

Şekil 5.16. Bağlantı görüşü ve çağrı mektubu..... 62

Şekil 5.17. Alüminyum profil yan kesiti. 66

Şekil 5.18. Tek eksenli manuel takip sistemi konstrüksiyon. 67

Şekil 5.19. Tek eksenli takip sistemi. 68

Şekil 5.20. ETAP üzerinde modellenen tek hat şeması..... 72

Şekil 5.21. ETAP kısa devre raporu. 72

Şekil 5.22. Topraklama direnç (Ω) testi. 73

Şekil 5.23. PV modül bağlantıları. 79

Şekil 5.24. Santral genel yerleşim planı. 79

Şekil 5.25. Tek hat şeması. 80

Şekil 5.26. Topraklama hesabı eki. 81

Şekil 5.27. Şarj istasyonu bağlantıları. 82

Şekil 5.28. Çift yönlü sayaç akım trafolu ve akım trafosuz bağlantı şeması 82

Şekil 5.29. Tahmini ve gerçek üretim verileri karşılaştırması 84

Şekil 5.30. Ekim ayı üretim verileri. 85

Şekil 5.31. Aylara göre üretim verileri. 85

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1. PV modül teknik detayları 48

Tablo 5.2. İnvertör teknik detayları 51

Tablo 5.3. Şarj istasyonu teknik detayları 52

Tablo 5.4. Kablolar ve teknik detayları 55

Tablo 5.5. Pano teknik detayları. 56

Tablo 5.6. Konstrüksiyon teknik detayları 57

Tablo 5.7. PV modül-invertör uyumluluk hesabı 64

Tablo 5.8. Asal gerilme tahkiki SAP2000 sonuçları. 65

Tablo 5.9. Döşeme şekline bağlı düzeltme katsayıları 69

Tablo 5.10. Ortam ve kablo çalışma sıcaklığına bağlı düzeltme katsayıları 69

Tablo 5.11. DC gerilim düşümü. 70

Tablo 5.12. AC gerilim düşümü. 71

Tablo 5.13. Bara akım taşıma kapasiteleri 75

Tablo 5.14. GES'lerin kWh cinsinden aylık üretim verileri 84

Tablo 5.15. Yatırım ve geri dönüş süreleri 86

Tablo 5.16. Farklı enerji tüketim senaryolarına göre yatırımın geri dönüş süresi 87

1. GİRİŞ

1.1. Bölüm Özeti

Enerji, ekonomik büyümenin başlıca unsurudur ve bir ülkenin kalkınması için kilit faktördür. Yıllar içinde, özellikle elektrik enerjisi olmak üzere enerji talebi, insanların artan yaşam standardının yanı sıra modernleşme, sanayileşme ve nüfus artışı nedeniyle artmaktadır. Elektrik enerjisinin önemli ölçüde fosil yakıtlardan üretilmesi hayati önem arz eden havayı kirletmekte ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu kaynaklar sürdürülebilir kaynaklar değildir. Stoğu sürekli azalan bu kaynaklar arz-talep dengesini sağlayamadıkça birim fiyat dalgalanmasına da yol açmaktadır. Fosil yakıtlar taşıtlar için de kullanıldığından çevreye bu şekilde de oldukça zarar vermektedir. Günümüzde fosil yakıtların kullanımını durdurmak için birçok dernek/kuruluş bulunmaktadır ve bunlar fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını önermektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte elektrikli araçların yaygınlaşması sayesinde taşıtlarda fosil yakıt kullanımını önlemek için de alternatifler mevcut olmuştur. Elektrikli araçlar doğrudan fosil yakıt kullanmaz ve doğaya zarar vermemek için dolaylı kullanımı da önlemek gereklidir. Bunun için elektrikli araçların yakıtı olan elektriği yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmek mükemmel bir çözümdür. Aynı zamanda bazı yenilenebilir enerji kaynakları tüketimle aynı noktada üretim yapabildiği için enerji nakil kayıplarını da yok denecek seviyeye getirmektedir. Bu ve diğer avantajları dolayısıyla tercih edilen yenilenebilir enerji birçok devlet tarafından desteklenmektedir. Sürdürülebilir enerji politikaları ile desteklenirken gelişen teknoloji ile de verimliliği artmakta ve maliyetler de düşmektedir. Bu durum birçok yatırımcının dikkatini çekmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmalarını sağlamıştır. Yatırımın geri dönüş süresi devlet teşviklerindeki olumlu/olumsuz değişmeler ile sabit kalmasa da genele bakıldığında sürekli azalan yöndedir. Her geçen gün daha ulaşılabilir (maddi olarak) olan yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üreten santraller bireysel olarak da küçük ölçekte kurulumlar yapılmasını ve yaygınlaşmasını sağlamıştır. Son çıkan teşviklerle birlikte fabrikalar ve bireysel kullanıcılar özellikle çatı üzeri güneş enerji santrallerine yönelmiş durumdadır[1].

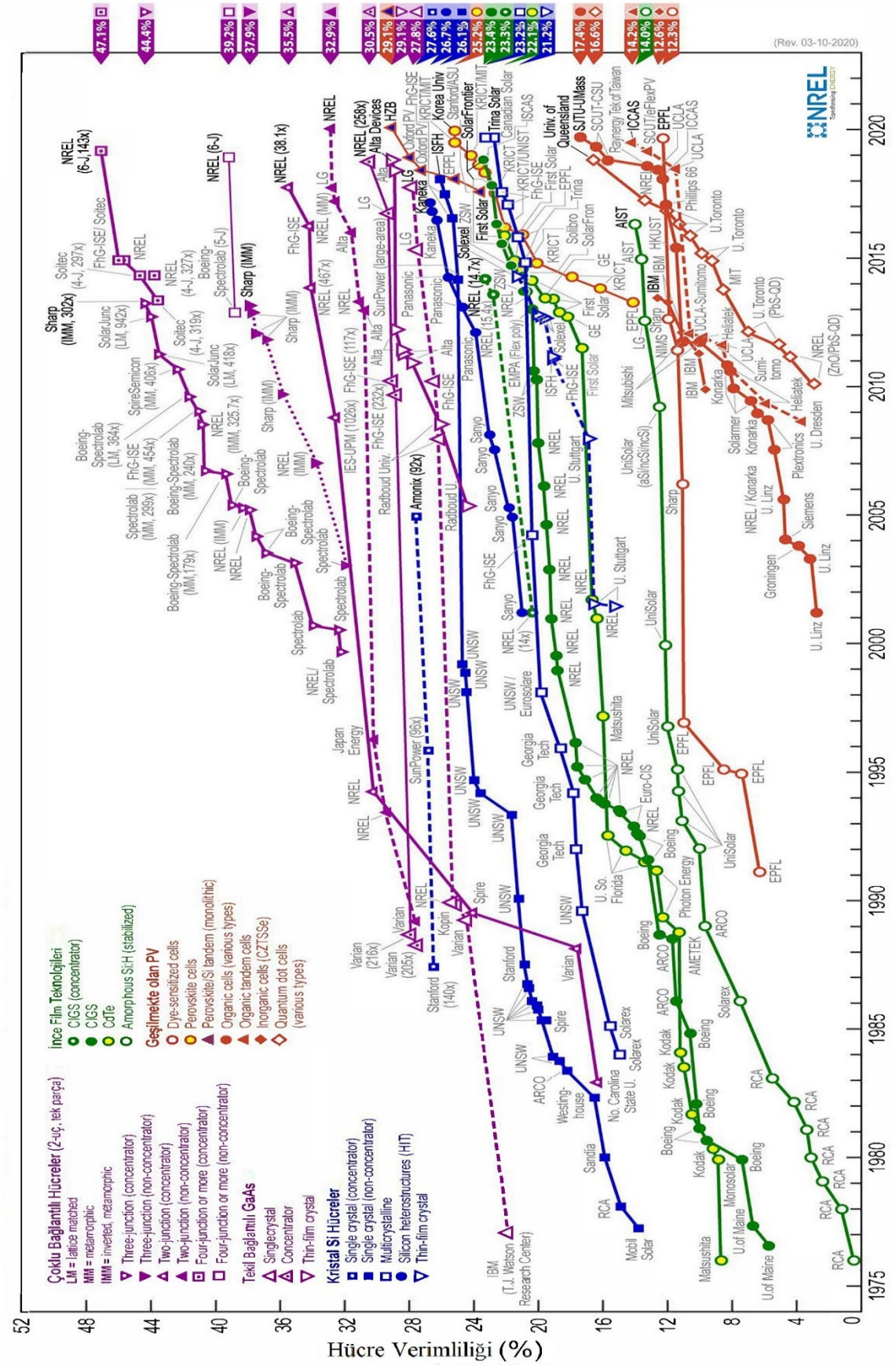
1.2. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları çevreye zararı olmayan temiz ve sürdürülebilir kaynaklardır. Artan enerji talebini karşılamak için arz ve talebin aynı noktaya taşınabilme olanağına sahip olan bu kaynaklar kullanılarak çevreye en az zararla elektrik üretilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan santraller büyük ölçekli olabildiği gibi bireysel olarak kurulum yapılabilen küçük boyutlarda da olabilmektedir. Bu sayede arz ve talebi aynı noktaya taşıyabilmek kolaylaşmaktadır. Aynı zamanda birçok ülkede yenilenebilir enerji kaynaklarına teşvikler bulunmaktadır. Daha temiz bir dünya hedefiyle kurulumlar da artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle olarak sınıflandırılmaktadır. Hidroelektrik ve jeotermal enerji kaynakları potansiyel olarak belirli yerlerde bulunmaktadır ancak diğer yenilenebilir enerji çeşitlerine hemen hemen her yerde ulaşılabilir. Bununla birlikte dikkat edilmesi gereken konular mevcuttur. Örneğin biyokütle kaynaklı santrallerde koku oluşumu olabileceği için yerleşim yeri içerisinde kullanmamak daha faydalı olacaktır. Büyük rüzgâr türbinleri de belirli bir seviyede ses yaptıkları için yine yerleşim yerlerinden uzakta olması daha elverişlidir[2]. Güneş enerjisinin ise biraz daha yaygın kullanım alanı vardır.

1.2.1. Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin ayrı bir yeri olduğu açıktır. Güneş yaşamın olduğu her yere ulaşabilen bir enerji kaynağı olduğu için diğer enerji kaynaklarına göre daha büyük potansiyele sahiptir. Bu sebeple daha kolay yaygınlaşmaktadır. Birçok çeşidi bulunan güneş enerjisi kullanımı ilk olarak termal su ısıtma ve benzeri uygulamalar ile hayatımıza girmiştir. Ayrıca güneş ışığı, ışık ileten boru (light-pipe) kullanılarak normal şartlarda güneş ışığı girmeyen yerleri aydınlatma amacı ile kullanılmaktadır[3]. Ancak çalıştığımız konu güneşten elektrik üretmek olduğu için bu bağlamda genel olarak kullanılan iki çeşit sistem vardır; termal ve fotovoltaik. Termal sistemler ışınlarını bir merkeze yansıtmak amacıyla oluşturulan devasa güneş aynaları veya “C” şeklinde aynalar ile bu aynaların ortasından geçen içi ısıtılmak üzere sıvı dolu borulardan oluşan sistemler gibi ısıyı elektriğe çevirme yöntemiyle elektrik üreten güneş enerji santralleridir[4]. Fotovoltaik sistemler ise güneş ışığındaki fotonlardan faydalanılan, bazı kimyasallar kullanılarak fotonlar ile harekete geçen elektronlar sayesinde elektrik

üreten enerji santralleridir. Fotovoltaik güneş enerji santrallerini oluşturan hücrelerin tarihçesine bakacak olursak, Alexandre Edmond Becquerel'in fotovoltaik (PV) etkisini ışığa maruz kalan iletken bir çözeltide bir elektrot aracılığıyla gözlemlediği 1839'dan beri keşifler devam etmektedir. 1877'de Adams ve Day katılaşmış selenyumda PV etkisini gözlemlemiş ve 1904'te Hallwachs bakır ve bakır oksit ile yarı iletken birleşme güneş pili yapmıştır. Bununla birlikte, bu dönemlerde yapılan keşifler ilkel denilebilecek ve bilimsel bir ortak nokta olmadan deneysel olarak yapılan keşiflerdir. PV hücreler için teorik temel ve potansiyel gelişmeler PV'nin tarihinin ikinci aşamasında 1905'ten 1950'ye kadar olan süreçte olmuştur. Bu dönemdeki kilit olaylar Einstein'ın foton teorisi, Czochralski kristal büyüme yönteminin tek kristal silikon ve germanyum büyümesi için uyarlanması ve yüksek saflıkta tek kristal yarı iletkenler için bant teorisinin geliştirilmesi olmuştur. Geliştirilen PV hücre teorisi, yüksek verimli güneş pilleri için yüksek saflıkta tek kristal yarı iletkenlerin önemini vurgulamıştır. Bell Labs tarafından silikon güneş pili 1954'te duyurulmuş ve 1957'de Pearson, Chapin ve Fuller %8 verimli silikon güneş hücresi patenti almıştır[5-8]. Günümüzde bu tip hücrelerden üretilen modüller oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Oldukça fazla çeşidi bulunan güneş hücreleri için yıllara göre verimlilik oranları ve çeşitleri Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1.1. Hücre verimlilikleri[9].

Bakım maliyetleri çok düşük olan güneş enerji santrallerinin aynı zamanda diğer yenilenebilir enerji santrallerine göre kurulumu daha kolaydır. Güneş ışınlarından enerji üreten fotovoltaik sistemler taşınabilir boyutlara kadar küçülebilmekte ve en çeşitli kullanım alanına sahip enerji kaynağı unvanını almaktadır.

1.3. Dünyada Yenilenebilir Enerji

Küresel ısınmanın farkına varılması ile birlikte yenilenebilir enerjiye olan ilgi ve ihtiyaç da artmıştır. Aynı zamanda teknolojinin gelişmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliği artarak maliyetleri azalmıştır. Bu sebeplerle birlikte yenilenebilir enerji son dönemde oldukça popüler bir konu olmuştur. Uzun yıllardır kullanılan hidroelektrik kaynaklarına ek olarak güneş ve rüzgâr enerjisi kaynakları hızlı bir artış göstererek en kolay uygulanabilen kaynaklar olarak öne çıkmaktadırlar. Bunlara örnek olarak büyük şirketlerden olan Apple, 2014 yılından beri tüm veri merkezlerinin enerji ihtiyacını yenilenebilir enerjiden karşılamaktadır. Apple'ın genel merkezi, Kuzey Amerika'daki Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (LEED) Platinum sertifikalı en büyük ofis binası Apple Park da tamamen yenilenebilir enerji kullanmaktadır. Dünyanın en fazla yenilenebilir enerji satın alan şirketi olan Google da güneş ve rüzgâr enerjisi başta olmak üzere birçok yatırımı ve yenilenebilir enerjiden üretim yapan şirketlerle anlaşması mevcuttur. Bazı ülkelerde yenilenebilir enerjinin kurulu gücünün büyüklüğü yapılan projelerden anlaşılmaktadır. Örneğin Hindistan'daki; Pavagada Solar Park(2050 MW), Bhadla Solar Park(1515 MW), Kurnool Ultra Mega Solar Park(1000 MW), Çin'deki; Tengger Desert Solar Park(1547 MW), Datong Solar Power Top Runner Base(1000 MW), Longyangxia Dam Solar Park(850 MW), gibi projeler tek konumda yapılan en büyük projelerden birkaçı ve sadece güneş enerji projeleridir[10]. Bunlar gibi büyük projelerin yanında birçok konutun çatısı da güneş enerjisiyle donatılmış durumdadır. Ayrıca diğer yenilenebilir enerji yatırımlarının da olduğu bilinmektedir. Özellikle rüzgâr ve hidroelektrik enerji kurulu güçleri çoğu ülkede güneş enerjisinden daha fazla durumdadır. Yenilenebilir enerjiye olan ilgi, dünyanın yaşanabilir bir geleceğe sahip olması için her geçen gün artmaktadır.

1.4. Konu ile İlgili Literatür Çalışması

Yenilenebilir enerji konusunda oldukça fazla araştırma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Bunların sonucu olarak binlerce akademik yayın bulunmaktadır. Bu akademik yayınlardan tezin konusu ile alakalı birkaç makaleyi bu bölümde inceleyeceğiz.

Sandy Atanalian ve arkadaşları yenilenebilir enerjinin elektrikli araç şarj istasyonları ile kullanımının önemini vurgulamıştır. Fotovoltaik güneş enerji santrali (GES) ile mikro DC şebeke oluşturup elektrikli araç şarj istasyonunu bu şebekeye entegre etmiş ve çift yönlü şarj (Vehicle to Grid: V2G) teknolojisi üzerinde de durmuşlardır. Bu teknoloji sayesinde gerektiğinde elektrikli araçtan mikro-şebekeye enerji iletiminden bahsetmişlerdir.

Qiang Gao ve arkadaşları yenilenebilir enerjinin yeşili ve çevreyi koruma adına önemli bir trend olduğunu ve elektrikli araçların içten yanmalı motora (İYM) sahip araçlardan daha temiz olduğunu vurgulamışlardır. Elektrikli araçların yaygınlaşmasının şarj istasyonu yaygınlaşmasına bağlı olduğundan ve bunu da yenilenebilir enerji kaynağı olan GES'lerden beslenecek şekilde uygulamanın en doğru çözüm olduğundan bahsetmişlerdir. Bu konuda yaptıkları simülasyon ve tasarım şemaları çalışmaları ile öneriler sunmaktadırlar.

Patrick Heinstein ve arkadaşları faklı bir bakış açısından bakarak binaya entegre güneş enerjisi santrallerinin ve diğer yenilenebilir enerji santrallerinin gelişiminde yalnızca maliyet-verimlilik oranı ile ilgili konular değil, psikolojik ve sosyal faktörlerin de belirgin rol oynadığını öne sürmüşlerdir. Bu sebeple görsel dizaynın da önemli olduğunu ve mimari açıdan estetik tasarımların da binaya entegre GES'lerin gelişimine katkıda bulunacağını vurgulamışlar, diğer psikolojik ve sosyal faktörlere de değinmişlerdir.

Nebojsa Jakica ve arkadaşları binaya entegre güneş enerjisi santrallerini simule eden 27 yazılım, 9 çevrimiçi araç ve 4 uygulamayı karşılaştırmıştır. Bu incelemenin bulguları, incelenen yazılım ve uygulamaların her birinin PV proje tasarımı ve yönetimiyle ilgili tüm faktörleri karşılayamayacağını göstermiştir. Sonuçlar doğrultusunda eksik olan yönleri ele almışlar ve neler yapılması gerektiğini, nasıl bir yazılım oluşturulması gerektiğini anlatmışlardır. Bu karşılaştırma ve sonuçlar aynı zamanda santral kurulumu sırasında dikkat edilmesi gereken birçok konuyu da özetlemiş olmaktadır.

Nallapaneni Manoj Kumar ve arkadaşları kristal silisyum, CIS ve CdTe olmak üzere üç PV teknolojisine sahip binaya entegre güneş enerjisi santralleri performans analizi yapmışlardır. Bu analizde sıcaklık ve diğer etkenlerden dolayı performans kayıpları incelenmiş, bu üç teknoloji arasındaki en verimli olan sistem araştırılmıştır.

Daniel Efurosibina Attoye ve arkadaşları binaya entegre güneş enerjisi santrallerinin mimari açıdan sorun teşkil edip uygulanmaması problemini ortadan kaldırmak için birkaç tasarım çalışması yapmışlardır. Verimlilik açısından değerlendirilen GES'lerin yaygınlaşması için bazen mimari olarak da çekici olmaları gerekmektedir. Bunu çeşitli yönlerden ele alıp öneriler sunmuşlardır.

Saravana Selvan ve arkadaşları fotovoltaik santrallerin yapıtaşları olan PV hücrelerdeki sıcaklık, güneş radyasyonu ve diğer etkilerle değişen akım-gerilim dalgalanmasını takip edip her zaman en yüksek gücü elde etmeye yarayan maksimum güç noktası takip edici (MPPT) konusuna vurgu yapmışlardır. Uygulamalardaki ana MPPT algoritmalarını gözden geçirerek çeşitli faktörlerle değer ve dezavantajları analiz ederek konuyla alakalı araştırmacılara bilgi aktarmışlardır.

Emrah Bıyık ve arkadaşları binaya entegre fotovoltaik / termal sistemler üzerinde araştırma yaparak hem elektriksel hem de termal fayda sağlamayı amaçlamışlardır. Bu sistemlerin tasarımı, analizi, simülasyonu ve performans değerlendirmesi, finansal gelişimi ve teşvikleri, yeni yöntemleri gibi konuları ele almışlardır.

Juliana E. Gonçalves ve arkadaşları farklı şehirlerde aynı tasarımı simule edip sonuçları değerlendirmişlerdir. Sonuçlara göre yüksek ışınımın olduğu ekvatora yakın bölgeler aslında en yüksek verimin sağlanmadığı, yüksek sıcaklık sebebiyle verimlerin beklenenden düşük olduğunu görmüşlerdir. En iyi sonuçların yüksek ışıma ve düşük sıcaklık kriterlerini sağlayan şehirlerde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Akshya S. ve arkadaşları yenilenebilir enerji kaynağı ve elektrikli araç şarj istasyonunun şebekeye entegrasyonu için etkili kontrol mantığı veren bir tasarım üzerine araştırma yapmışlardır. Bu tasarım, bina içi yoğun tüketim olmayan saatlerde elektrikli aracı şarj edecek ve yoğun saatlerde konut yüküne güç sağlayan şarj sistemi ile entegre bina üzeri GES'den oluşmaktadır.

Ahmed Nait Sidi Moh ve arkadaşları şebekeden bağımsız elektrikli araç şarj istasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada tüm elektriksel sistemin tasarımı, matematiksel modellenmesi, simülasyonu ve deneysel sonuçları sunulmuştur.

Alessandro Ciocia ve arkadaşları bir kütüphane çatısına GES modellenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kütüphane enerji ihtiyacı analiz edilmiş, GES üzerine gölge oluşturabilecek çevredeki etkenler tespit edilip GES tasarımı gölgeden en az etkilenecek şekilde oluşturulmaya çalışılmıştır.

M.J. Sorgato ve arkadaşları teknik ve ekonomik açıdan binaya entegre fotovoltaik santral incelemesinde bulunmuşlardır. Bu incelemede ince-film CdTe hücreler kullanılan paneller tercih edilmiş ve bu paneller değerlendirilmiştir.

Youngroc Kim ve arkadaşları binaya entegre GES'lerde kullanılmak üzere invertör tasarlamışlardır. Tasarlanan bu invertörün %3'ten düşük toplam harmonik distorsiyon (THD) oluşturduğu ve yaklaşık %97 verime sahip olduğu belirtilmektedir. Simülasyon ve test sonuçları analiz edilmiştir.

Jian Ma ve arkadaşları elektrikli araç şarj istasyonlarının konumunu belirleme konusunu vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada oluşturulan modelin bir şehirden elde ettikleri veriler ile testini gerçekleştirerek optimum düzeyde çalıştığını belirtmektedirler.

Gautham Ram Chandra Mouli ve arkadaşları elektrikli araçların geleceği konusundaki projeleri değerlendirmişlerdir. Kablosuz şarj istasyonları ve güneş enerjisi ile beslenen şarj istasyonlarının yaygınlaşacağını tahmin ederek bu konuda analizler yapmışlardır.

Ahmad Imran bin Ibrahim ve arkadaşları güneş enerji santrallerinin güneşi takip etmesinin önemini vurgulamışlardır. Bu sebeple iki eksenli iki farklı güneş takip sistemi oluşturup analiz etmişler ve verimliliklerini değerlendirmişlerdir.

Yann Riffonneau ve arkadaşları depolamalı GES'lerin şebekeye entegrasyonunun şebekede oluşturacağı etkileri vurgulamıştır. Şebekeye bağlantının optimizasyonu için çalışma yapmış, simülasyon verilerini ve gerçek verileri değerlendirmişlerdir. Depolamada kullanılan pillerin ve enerji yönetiminin önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Waqas Chaudhary tezinde güneş takip sistemleri üzerine geniş çaplı araştırma yapmış tek eksenli, çift eksenli, aktif, pasif vb. birçok güneş takip sistemi hakkında bilgilendirmede bulunmuştur. Tüm bu çeşitlerin avantaj, dezavantajlarını ve literatür taramasını kapsamlı

bir şekilde yapmıştır. Bu bilgiler ışığında güneş takip sistemi tasarlamış ve bu sistemin anlık verilerini izleme sistemi ile takip eden bir proje sunmuştur.

He Jun Yu ve arkadaşları güneş radyasyon gözlem sisteminde yeni tip otomatik güneş takip cihazının özelliğini ve sistem prensibini açıklamaktadır. Sistem her türlü hava şartlarına ve yüksek hassasiyete sahip iki kontrol modu planlar; yörünge izleme modu ve sensör izleme modu. Sistemdeki iki kontrol modunun mantığı ve projesi ayrıntılı olarak ele alınmış ve iki kontrol modu arasındaki yumuşak geçiş tartışılmıştır.

1.5. Tezin Amacı

Tezin amacı, daha yaşanabilir bir dünya için artan enerji ihtiyacına çözüm sunan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan farkındalığın artırılması ve bu kaynakların en verimli şekilde kullanılması için gerçek veriler ve bilimsel analizler üzerinden sistem tasarımının yapılması ve uygulanmasıdır. Bu bağlamda günümüzde popülerliği artan ve fosil yakıtlı araçların yerini almaya başlayan elektrikli araçlar için şarj istasyonu ile bağlantılı çatı üzeri güneş enerji santralleri kurulum aşamalarını ve kurulum sonrası üretim değerlerini analiz ederek hem saha uygulayıcılarına hem de akademik alanda çalışanlara yol gösterici bir çalışma hazırlanmıştır.

Güneş enerjisinin oldukça hızlı yaygınlaşması, verimsiz santrallerin kurulmasına da yol açmıştır. Bu sebeple verimsiz santrallerin önüne geçebilmek adına projelendirme ve saha uygulaması esnalarında dikkat edilmesi gereken konulara örneklerle değinilmiştir. Ayrıca birçok çeşidi bulunan güneş enerjisi santrallerinin tekno-ekonomik analizi de yapılarak yatırımcının ve tasarım yapan kişilerin en uygun santral tipini seçmelerinde yardımcı olacak değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Bu çalışmada, güneş enerji santralinin tasarımında PVsyst, PV*SOL, AutoCAD, ETAP, SAP2000, Probina ve Excel programları kullanılmıştır. Proje uygulandıktan sonra sahadan alınan gerçek veriler ile tasarımda kullanılan PVsyst ve PV*SOL programlarının simülasyon tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan yatırım maliyeti ve üretim verilerine göre amortisman süreleri de hesaplanmış, güneşi tek eksenli takip eden iki farklı sistem(motorlu ve motorsuz) ile sabit sistem arasında karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

2. TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÇALIŞMALARI

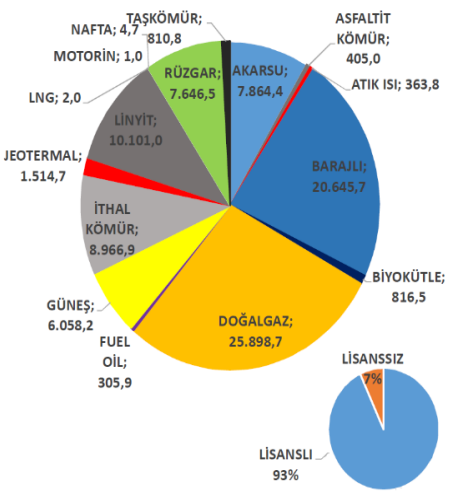
2.1. Giriş

Türkiye'de yenilenebilir enerji çalışmaları bazı kaynak çeşitlerinde uzun yıllardan beri mevcuttur. Ancak bazı kaynak çeşitlerinde ise son birkaç yıldır çalışmalar mevcuttur. Devletin teşvikleri ile birlikle yenilenebilir enerji çalışmaları hız kazanmıştır. Kaynak çeşidine göre özet gelişmeler bu bölümde sunulmuştur.

2.2. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Çalışmaları

Yenilenebilir enerji kaynakları kaynak çeşidine göre hidrolik, güneş, rüzgâr, hidrojen, biokütle ve jeotermal olarak sınıflandırılır. Ülkemizde tüm çeşitleri mevcut olan bu kaynakların santral kurulu gücü artan ivmeyle yükselmektedir. Ancak Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji santralleri kurulu gücü yeterli miktarda değildir.

BİRİNCİL KAYNAKLARA GÖRE SANTRAL ADETLERİ VE KURULU GÜÇ		
BİRİNCİL KAYNAK	SANTRAL ADEDİ	KURULU GÜÇ (MW)
AKARSU	558	7.864,4
ASFALTİT KÖMÜR	1	405,0
ATIK ISI	84	363,8
BARAJLI	124	20.645,7
BİYOKÜTLE	183	816,5
DOĞALGAZ	332	25.898,7
FUEL OİL	11	305,9
GÜNEŞ	6.975	6.058,2
İTHAL KÖMÜR	15	8.966,9
JEOTERMAL	54	1.514,7
LİNYİT	48	10.101,0
LNG	1	2,0
MOTORİN	1	1,0
NAFTA	1	4,7
RÜZGAR	275	7.646,5
TAŞKÖMÜR	4	810,8
TOPLAM	8.667	91.405,9

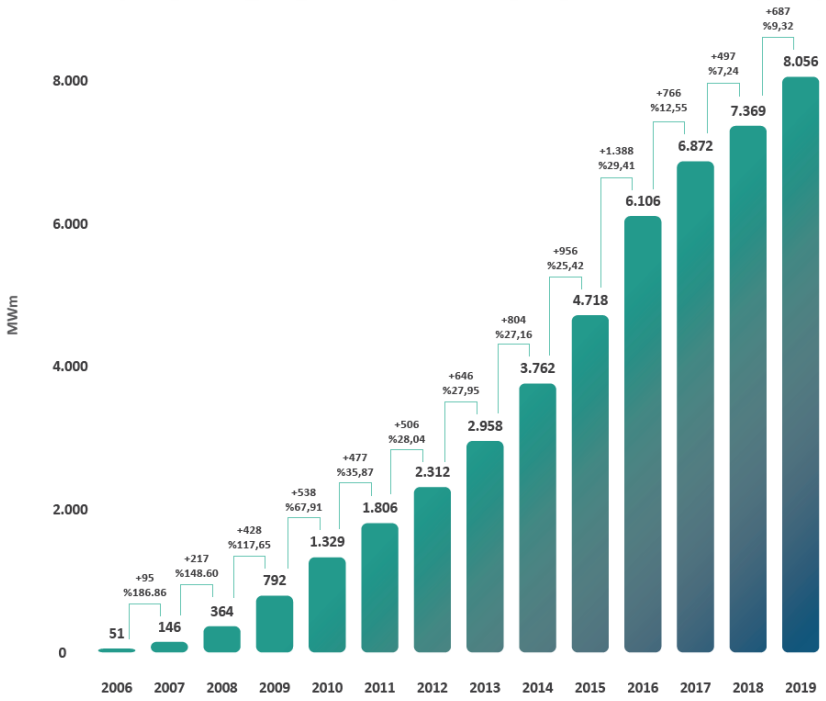


Şekil 2.1. Santral kurulu güçleri[11].

2.3. Rüzgâr Enerjisi

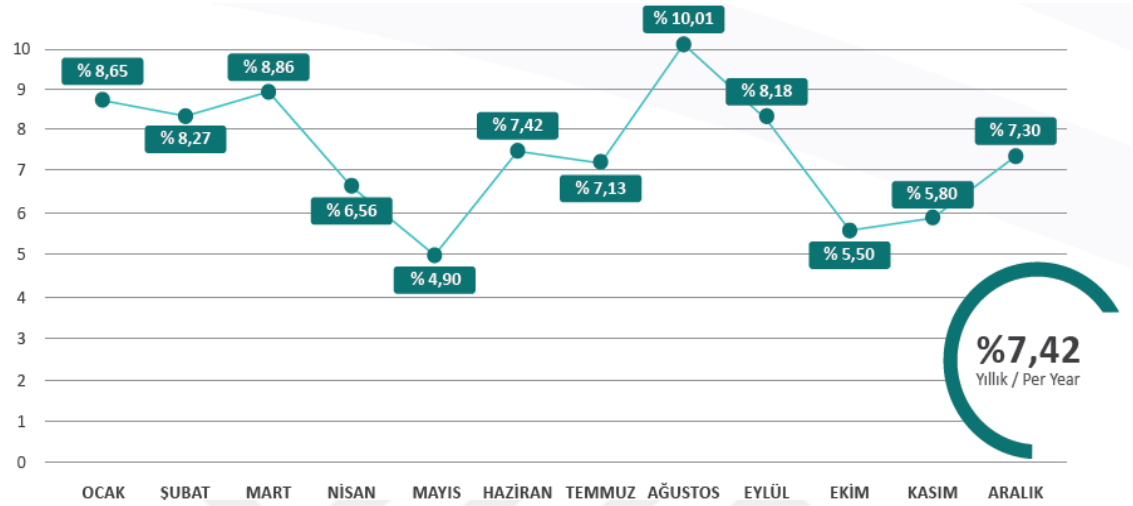
Rüzgâr enerjisi uygun rüzgâr potansiyelinin olduğu yerde uygulaması tavsiye edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisinin kullanım alanları ve tarihçesine baktığımızda ilk olarak ulaşımda kullanımını görmekteyiz. Mısırlılar, Nil Nehrinde milattan önce (MÖ) 3100'lü yıllarda keten ve papirüs yelkenleri ile donatılmış gemilerle ulaşım sağlamaktaydılar. Ayrıca bu dönemden 19. yüzyılın ortalarına kadar, uluslar yelkenli gemilere bağımlı kalmışlardır. Öte yandan diğer kullanım alanı olarak, tam

olarak bilinmemekle birlikte Milattan sonra (MS) 10. yüzyılda İran'da yel değirmenlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar, saz demetleri dikey yelkenleri kullanan modern standartlara sahip ilkel yel değirmenleridir. Bu değirmenler ile tahıl öğütmek ve akarsulardan sulama bahçelerine su aktarmak için kullanılmıştır. Yüzyıllar boyunca, bu ilkel ama ustaca makineler, çiftçilerin su pompalamak, tahıl öğütmek ve şeker kamışı ezmek için kullandığı Hindistan ve Çin de dahil olmak üzere dünyanın diğer bölgelerinde de kullanılmıştır. Diğer bir yel değirmeni çeşidi, daha çok bilinen tipi, ise 1137'de Almoner'li William, tarafından Leicester, İngiltere'de tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bununla birlikte, iki değirmenin tasarımları çok farklıdır. Rüzgâr enerjisi bu alanlarda kullanıldıktan sonra elektrik üretmek amacıyla pratik büyük ölçekli rüzgâr türbini yapan ilk elektrik ark aydınlatma sistemiyle servet kazanan Cleveland, Ohio'dan bir bilim adamı olan Charles Brush'dı. 1886'da Brush muazzam oranlarda bir rüzgâr türbini tasarlamış ve inşa etmiştir. 18,3 m yüksekliğinde 46300 kg bir kule ve bu kulede 144 ince kanatlı 17,1 m çapında bir rotor bulunuyordu. Dönemin şartlarına göre muazzam derecede elektrik üreten sistem uzun yıllar kullanıldı[12]. İlerleyen yıllarda farklı kanat sayısı ve tipleriyle gelişen rüzgâr türbinleri günümüzde yenilenebilir enerji kaynağı olarak oldukça çok kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. Yıllara göre rüzgâr enerjisi kurulu gücü[13].

Ülkemizde büyük güçlü, şebekeye entegre rüzgâr enerjisi türbinlerinin yıllara göre kurulu güçleri grafiği Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Grafiğe göre rüzgâr enerjisine olan ilgi her geçen gün artmış ve her yıl yeni kurulumlarla 2019 yılında toplam rüzgâr enerjisi gücü elektrik ihtiyacımızın ortalama %7,42'sini karşılamaktadır (Şekil 2.3).

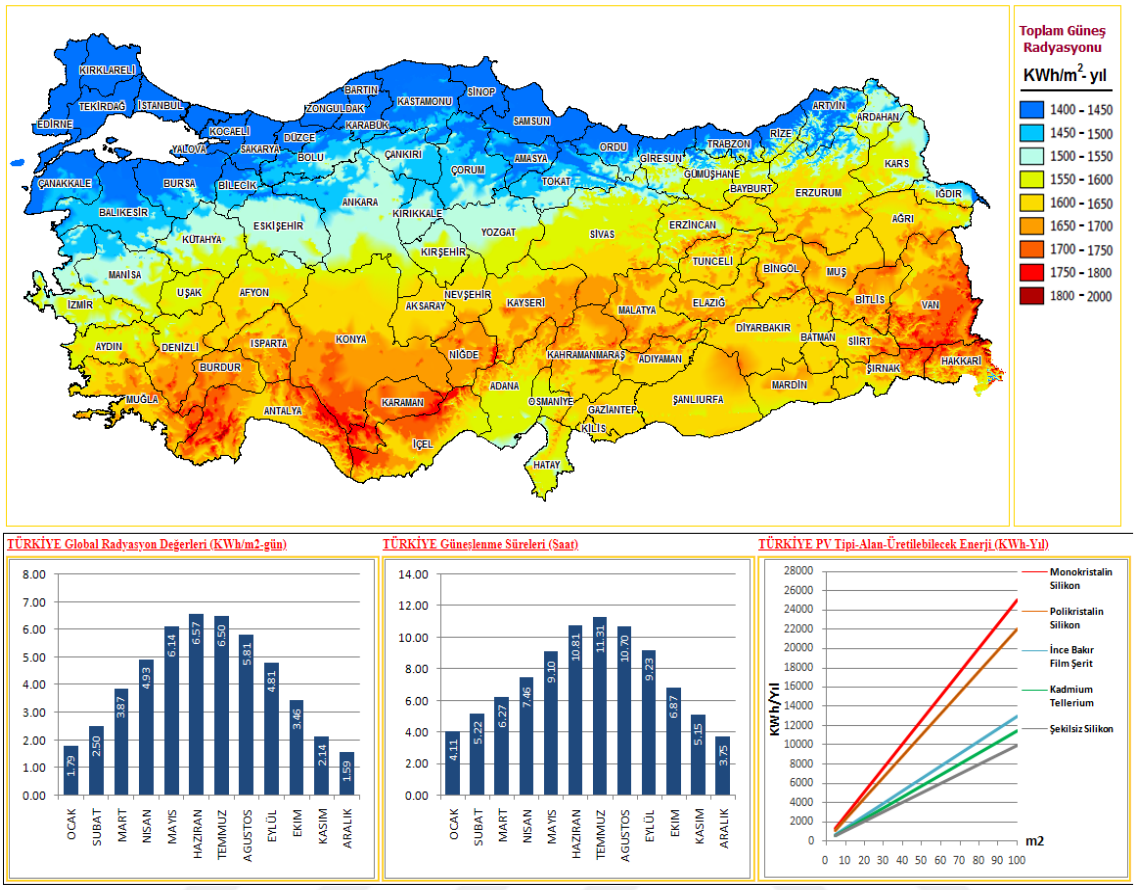


Şekil 2.3. 2019 yılı enerji ihtiyacının rüzgâr enerjisi santrallerinden karşılanma oranı[13].

Güncel Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB) istatistik raporuna göre İzmir başta olmak üzere Balıkesir, Manisa ve Çanakkale ülkemizde en çok rüzgâr enerjisi kurulu gücüne sahip illerimiz olarak sıralanmaktadır. Bu illerdeki kurulu rüzgâr enerjisi gücü toplamı tüm Türkiye'deki kurulu rüzgâr enerjisi gücü toplamının yarısını oluşturmaktadır. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) Şubat 2020 kurulu güç raporlarına göre Türkiye rüzgâr enerji santrali (RES) kurulu gücü 7646,5 MW olarak gözükmektedir[11]. Ayrıca inşaat halinde ve inşaatı başlamamış ama tüm izinleri alınmış birçok RES mevcuttur.

2.4. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi güneş ışığı olan her yerde kullanılabilir bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi birçok alanda kullanılabilmektedir. Türkiye'de özellikle su ısıtma için oldukça çok tercih edilmektedir. Ancak biz bu konuya elektrik üretimi açısından bakacağız. Ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli Şekil 2.4'ten anlaşılacağı üzere diğer ülkelere kıyasla ortalamanın üzerindedir.



Şekil 2.4. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası[14].

Ülkemizde şebekeye bağlı güneş enerji santrali kurulumu günümüzde oldukça popüler bir konu olup konuyla alakalı birçok fuar, konferans ve tanıtım düzenlenmektedir. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli açısından önde gelen ülkeler arasında olmasına rağmen kurulu GES bakımından gerilerde kalmaktadır. Ancak 2013 yılına kadar şebekeye bağlı GES kurulu gücü 0 MW iken, 2013 yılında çıkan lisanssız elektrik üretimi yönetmeliği ile birlikte hızlı bir başlangıç yapılmıştır. TEİAŞ Şubat 2020 kurulu güç raporlarına göre Türkiye GES kurulu gücü 6058,2 MW olarak gözükmektedir[11]. Hızlı bir şekilde artış gösteren GES kurulumu yönetmeliklerin verdiği izinler ile doğru orantılı olarak artmakta olup son yıllarda artış ivmesi biraz azalmıştır. Ancak devlet destekli Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) GES-1 kapsamında 1000 MW kurulu güce sahip olacak tek bir yerde kurulması planlanan Karapınar GES ile birlikte yeni büyük projeler ile kurulu güç tekrar hızlı bir şekilde artacaktır. Bu süreçte yeni çıkan ek yönetmelikler ile birlikte çatı üzeri GES'ler oldukça popüler olmaya başlamıştır.

2.5. Biyokütle Enerjisi

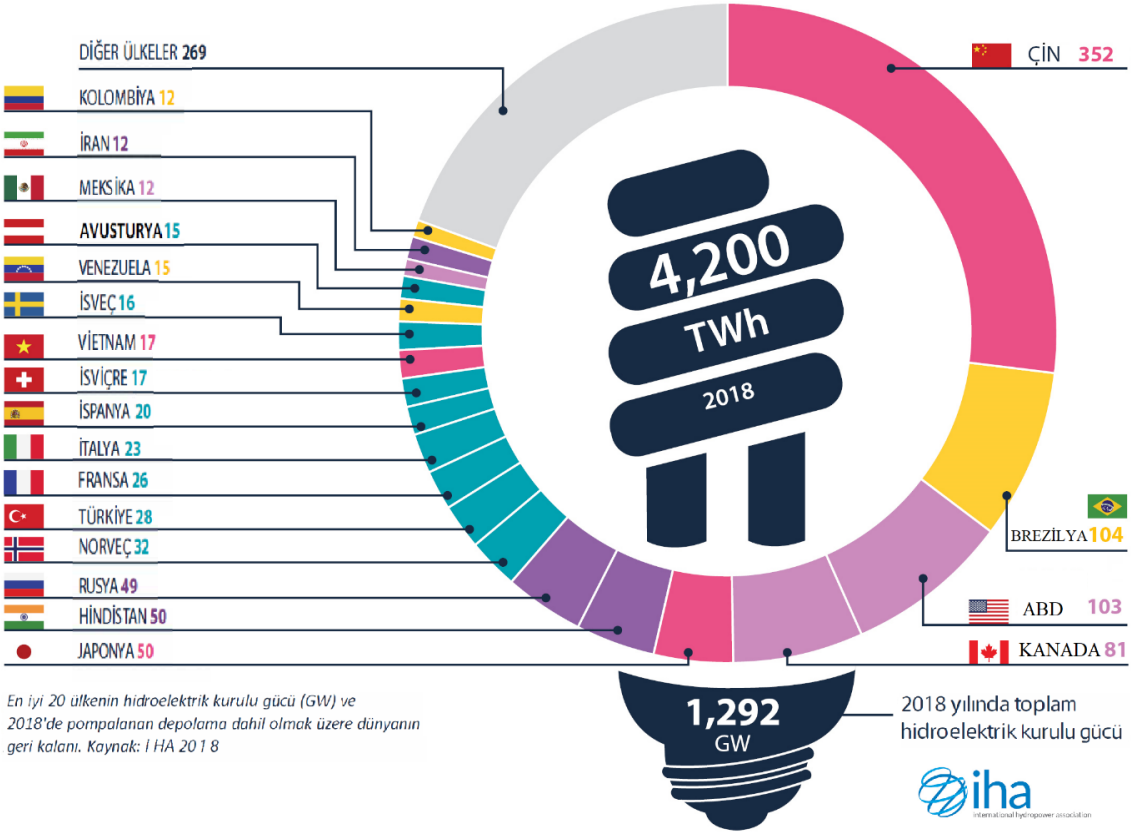
Biyokütle, yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak kısaca tanımlanabilir. Biyokütle kullanımı aslında ateşin bulunduğu döneme kadar uzanmaktadır. Odunun yanmasıyla oluşan ısı enerjisi de biyokütleden enerji üretimidir. Biyokütleden enerji üretimi biyokimyasal ve termokimyasal yöntem olarak temelde ikiye ayrılabilir. Birçok farklı alt yöntemle yapılan enerji üretimlerinde hangi yöntemin uygulanacağı hammadde(kullanılacak biyokütle) çeşidine göre belirlenmesi durumunda daha verimli olmaktadır. Başlıca biyokütle kaynakları; yağlı tohumlu bitkiler (soya, ayçiçek, kanola vb.), nişasta ve şeker bitkileri (şeker pancarı, buğday, patates, mısır vb.), elyaf bitkileri (keten, kenevir vb.), protein bitkileri (fasulye, bezelye vb.), tarımsal ve bitkisel artıklar (sap, saman, kabuk, kök, dal vb.), orman ve odun atıkları, küçükbaş ve büyükbaş hayvanların dışkıları, hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar ve mezbahane atıkları, kağıt, gıda atıkları, dip çamurları ve kanalizasyon, sanayi tesisleri ve belediye atıkları, evsel ve endüstriyel atık sulardır.

Türkiye'de tarım ve hayvancılık oldukça fazla olduğu için biyokütle açısından oldukça uygun şartlara sahip durumdayız. Özellikle hayvancılıktaki atıklar ve belediye, sanayi atıkları uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi gerektiğinden enerji üretiminde kullanılması avantajlı olacaktır. Bunların haricinde pamuk ve mısır atıkları da yüksek enerji içeriğinden dolayı biyokütle santrallerinde çok tercih edilen ve ülkemizde bolca bulunabilir atıklardır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından açıklanan verilere göre tahmini olarak ülkemizde biyokütle atık potansiyeli yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarı 1,5-2 MTEP'dir. TEİAŞ Şubat 2020 kurulu güç raporlarına göre Türkiye biyokütle kurulu gücü 816,5 MW olarak gözükmektedir[11].

2.6. Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerji, akan suyun gücünün elektrik enerjisine dönüştürülmesi sayesinde elde edilir. Temelde, akarsu hidroelektrik santrali ve depolamalı hidroelektrik santralleri olmak üzere ikiye ayrılır. Akarsu santralleri suyun akışı ile birlikte anlık elektrik üretirken depolamalı olan santraller talep fazlası enerji olduğunda suyu yüksek bir kısımda depolar ve ihtiyaç anında bu depodaki suyun akışı ile enerji üretirler. Enerji için su kullanımındaki

ilk yeniliklerden bazıları, M.Ö. 202 ve M.S. 9 arasındaki dönemde Çin'de tasarlanmıştır. Dikey setli bir su çarkı ile çalışan basit bir değirmende kullanılmıştır. Dünyanın ilk hidroelektrik projesi ise 1878'de İngiltere'nin Northumberland şehrinde bulunan Cragside kır evinde tek bir lambayı çalıştırmak için kullanılmıştır[15]. Sonraki yıllarda hızla yayılan hidroelektrik santralleri günümüzde önemli ölçüde kurulu gücü olan santrallerdir.



Şekil 2.5. Dünyada hidroelektrik kurulu güçleri[16].

Şekil 2.5'de görüleceği üzere Türkiye hidroelektrik kurulu gücüne göre önde gelen ülkeler arasındadır. TEİAŞ Şubat 2020 kurulu güç raporlarına göre Türkiye hidroelektrik kurulu gücü akarsu 7864,4 MW ve barajlı 20645,7 MW olarak gözükmektedir[11]. Önemli oranda enerji ihtiyacını karşılayan bu santraller yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla kurulu güce sahip olandır.

2.7. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ısı ve basıncın oluşturduğu sıcaklıkların su ile teması veya ısı alışverişi sonrası yeryüzüne sıcak su veya buhar olarak çıkan ısı enerjisidir. Halk arasında daha çok kaplıcalarda kullanıldığı bilinen bu sıcak

sular aslında enerji üretiminde de oldukça önemli payı bulunmaktadır. Yerli Amerikalıların 10.000 yıl kadar önce yemek pişirmek için jeotermal enerji kullandığına dair de kanıtlar var. Antik çağda, kaplıcalar için kullanılan jeotermal enerji daha sonra evleri ısıtmak amacıyla da uzun yıllar kullanılmıştır. Günümüzde de halen bu uygulamalar mevcuttur. İlk jeotermal elektrik enerjisi üretimi ise, 1904 yılında Prens Conti tarafından Larderello, İtalya'da uygulanmıştır. Kurulan bu ilk jeotermal elektrik santralinde 10 kW enerji üretilmiştir. Bu teknolojinin ilk ticari kullanımı 1913'te 250 kW üreten bir tesisin inşasıyla gerçekleşmiştir[17]. Yıllar içerisinde gelişen teknoloji ile birlikte daha verimli santraller kurulmuş ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak kurulmaya devam etmektedir. Kaynağına göre değişen oranlarda su ve buhar karışımından oluşan jeotermal enerji ısı kaynakları çeşitli teknolojilerle buhar ve su ayrıştırılarak veya ayrıştırılmadan kullanılmaktadır.

Türkiye coğrafik ve jeolojik konumu itibarıyla aktif tektonik kuşak üzerinde bulunmaktadır. Bu sebeple jeotermal açıdan dünyada önde gelen ülkeler arasındadır. Ülkemize yayılmış olarak doğal çıkış şeklinde yaklaşık bin adet değişik sıcaklıklarda jeotermal kaynaklar mevcuttur. Jeotermal kaynaklarımızın %90'ı orta ve düşük sıcaklıkta olup doğrudan uygulamalar (termal turizm, ısıtma, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için uygun olup, %10'u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için elverişlidir. Ülkemizde 1975 yılında jeotermal kaynaklı ilk elektrik üretimi Kızıldere Santrali (0,5 MWe) ile başlatılmıştır. TEİAŞ Şubat 2020 kurulu güç raporlarına göre Türkiye güncel jeotermal elektrik kurulu gücü 1514,7 MW olarak gözükmektedir[11].

2.8. Türkiye Şehir İçi PV uygulamaları

Türkiye'de şebeke bağlantılı PV uygulamaları arazi tipi olarak 2013'ten itibaren kurulmaya başlansa da küçük güçte ve şebekeden bağımsız olanlar uzun yıllardır mevcuttur. Özellikle elektrik şebekesinin ulaşamadığı konumlarda bulunan konutlarda, trafik uyarı işaretlerinde, aydınlatmada ve sinyalizasyonda kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak baz istasyonlarında da kullanılmaktadırlar. Türkiye'de şehir içi GES uygulamaları farklı alanlarda ve oldukça çok sayıdadır, birkaç örnek verecek olursak:



Şekil 2.6. Muğla Menteşe şehirlerarası otogarı[18].

Tükettiği enerjinin %80'ini çatısı üzerinde bulunan yarı saydam PV modüller ile oluşturulmuş yaklaşık 290 kW kurulu gücündeki GES'den alan Muğla Menteşe Şehirlerarası Otogarı Türkiye'de ilklerden(Şekil 2.6). Yarı saydam PV modüller elektrik üretirken aynı zamanda güneş ışığının bir kısmını iç mekâna aktarması sayesinde doğal aydınlatma sağlamaktadır[18].



Şekil 2.7. Büyükçekmece Gölü yüzer GES / İstanbul[19].

Türkiye'deki ilk olma özelliği taşıyan, Şekil 2.7'deki Nisan 2017'de gerçekleştirilen İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) ve İstanbul Enerji A.Ş. iş birliği ile 2900 m^2 alana uygulanan Büyükçekmece Gölü Yüzer GES'in kurulu gücü 240 kW'tır. Santralin 30 kW'ı karşılaştırma amaçlı olarak karada, 210 kW'ı göl üzerine kurulmuştur. Yine aynı dönemde faaliyete geçen 50 m^2 alana uygulanan Metro İstanbul A.Ş. Metris Tramvay Durağı GES kurulu gücü 8,4 kW'tır[19].



Şekil 2.8. Antalya stadyumu[20].

Antalya'da 2015'te hizmete açılan 33.000 seyirci kapasiteli stadyumun(Şekil 2.8) çatısında 1400 kW kurulu gücünde GES bulunmaktadır. Türkiye'deki ilk güneş enerjili stat olma özelliğini taşımaktadır[20].

Karayolları Genel Müdürlüğü ve belediyeler güneş enerjili trafik uyarı işaretlerini oldukça çok kullanmaktadır. İçinde barındırdığı akü sayesinde bu uyarı işaretleri kesintisiz çalışmakta ve sürücüleri uyarmaktadır.

Muş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 2013 yılında çatısına kurduğu 60 kW kurulu güce sahip GES ile okul çatısına GES uygulamalarının başlangıcını yapmış ve birçok okul çatısına GES kurmuştur.

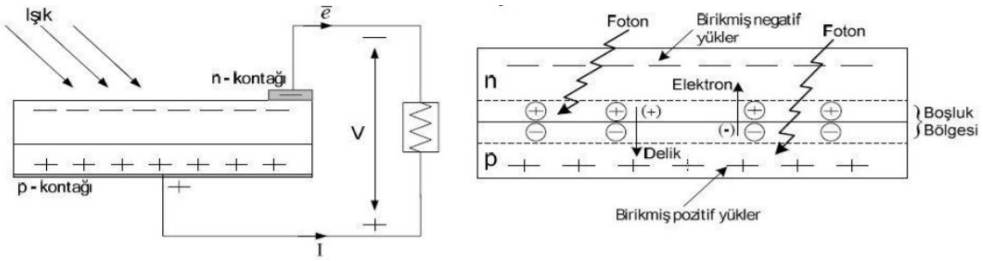
3. GÜNEŞ ENERJİSİ/FOTOVOLTAİK VE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

3.1. Giriş

Fosil yakıt tüketiminin önüne geçmek için tercih edilen güneş enerjisinden elektrik üretimi ve elektrikli araçlar ortak paydada buluşmaktadırlar. Bu sebeple birlikte kullanıldıklarında fosil yakıt tüketimini önlemede oldukça önemli adımlar atılmaktadır. Bu bölümde elektrikli araçlar, elektrikli araç şarj istasyonları ve PV modüllerin tarihsel gelişimi, teknik yapıları ve çeşitleri hakkında karşılaştırmalı bilgiler verilmektedir. PV modüllerin en çok tercih edilen çeşitlerinin üretim aşamaları da özetlenmektedir.

3.2. Fotovoltaik Hücre/Modül ve Çeşitleri

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi klasik p-n bağlantı noktalı diyot ile çok benzerlik göstermektedir. Işık bağlantı noktası tarafından emilince, emilen fotonun enerjisi malzemenin elektron yapısına aktarılır ve ayrışan yük, taşıyıcıların oluşmasını sağlar. p-n bağlantı noktasındaki elektrik yükü taşıyıcıları bir potansiyel fark oluşturur ve harici bir devre üzerinde elektron akışı olur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. FV hücre elektron akışı[6].

Fotovoltaik hücrelerin tarihsel gelişimine bakacak olursak;

Alexander Edmond Becquerel, 1839'da ilk fotovoltaik etkiyi platin tabakalar ile ilgili yaptığı bilimsel çalışmalar esnasında keşfetmiştir. 1873'te Willoughby Smith, selenyumun içindeki foto iletkenliği keşfetmiş ve ilk basit fotovoltaik düzeneği oluşturmuştur (Şekil 3.2)[6]. 1877'de R.E. Day ve W.G. Adams, katı maddelerin de fotovoltaik etki oluşturabildiğini yaptıkları çalışmalarla kanıtlamışlardır. 1883'te Charles Fritts, selenyum tabanlı ilk fonksiyonel %1 verimli PV hücreyi geliştirmiştir. 1946'da Russell Ohl, modern PV hücresi patentini almıştır.



Şekil 3.2. İlk basit fotovoltaik düzeneği[6].

1954'de Bell Laboratuarlarında, %6 verime sahip silisyum tabanlı PV hücreler oluşturulmuştur. Hoffman Elektronik, 1957'de %8, 1958'de %9, 1960'da %14 verime sahip, silisyum tabanlı PV hücreleri geliştirmiştir. PV hücreler ilk defa 1958'de Vanguard I isimli uzay aracında kullanılmıştır. 1970'de Zhores Alferov, GaAs heteroeklem PV hücrelerini oluşturmuştur. 1970'lerin sonuna doğru Petrol krizi ile birlikte alternatif enerji kaynakları arayışı içine girilmiş, PV hücrelere olan ilgi de artış göstermiştir. Bu da ar-ge ve üretimi artırmıştır. 1970'lerden günümüze olan fotovoltaik hücrelerin gelişimini ise Şekil 3.3'de özetlenmiştir. Burada alanında öncü birkaç büyük firmanın rekabetini de görmekteyiz[6].

PV hücreler belirli sayıda seri/paralel bağlantılarla modülleri oluşturmaktadır. Bu modüller de yine belirli sayılarda seri/paralel bağlantılarla dizileri oluşturmakta ve bu dizler de güneş enerji santrallerini oluşturmaktadır.

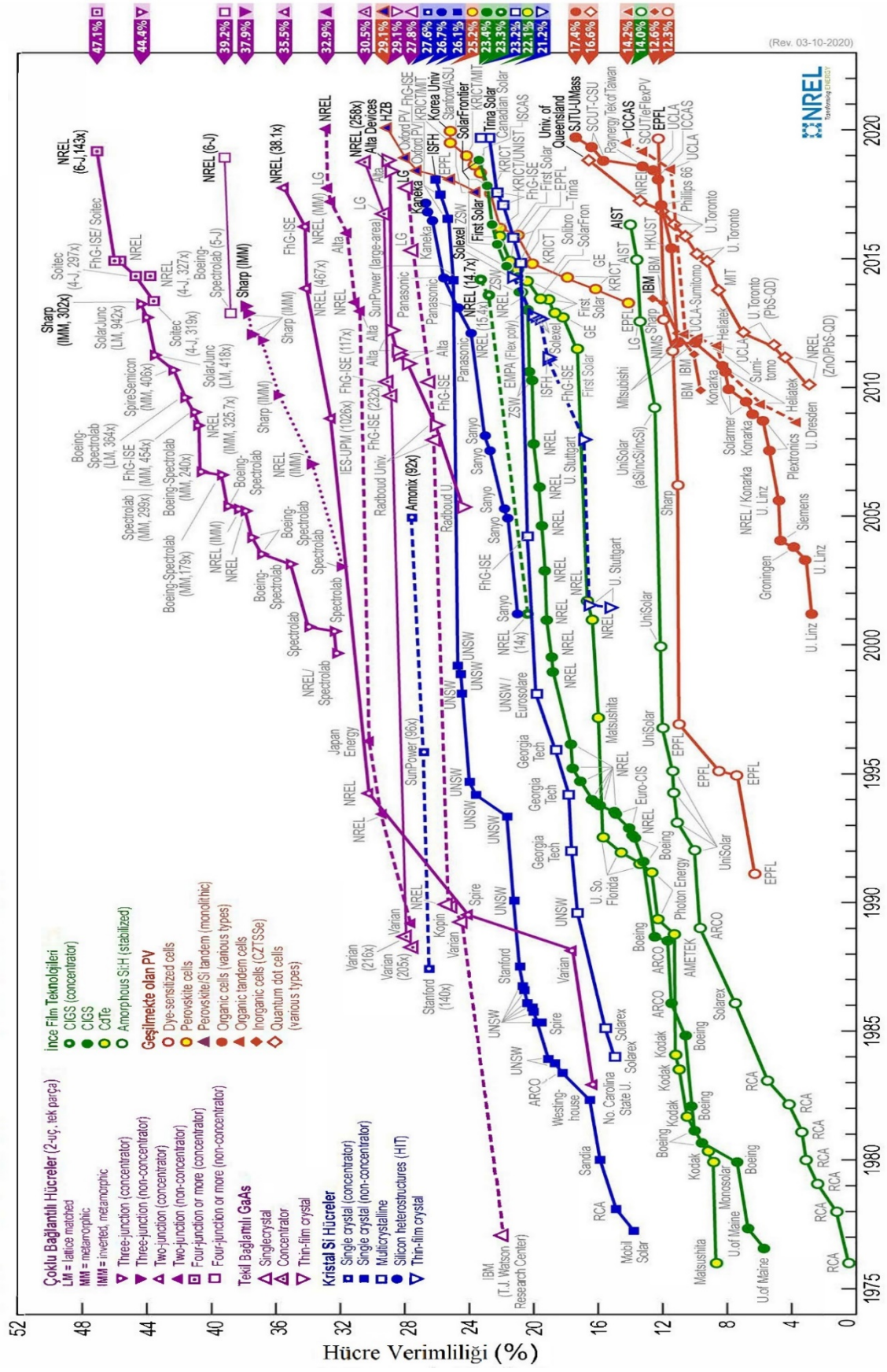
PV modülleri oluşturan hücrelerin birçok çeşidi bulunmaktadır;

- Kristal silisyum güneş hücreleri (mc-Si ve c-Si)

- İnce film güneş hücreleri (CIGS, CIS, CdTe, a-Si)

- III-V grubu PV hücreler (Tandem, supertandem, kuantum kuyulu hücreler vb.)

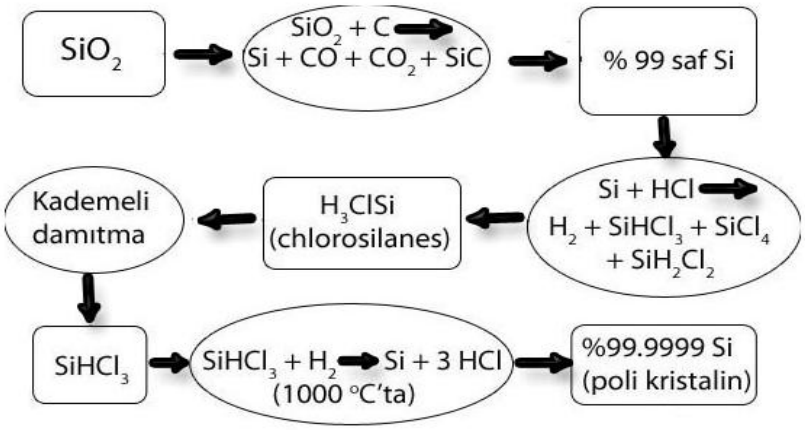
Bunlardan ticari olarak sıklıkla kullanılan çeşitler ise kristal silisyum hücreler ve CdTe, CIS/CIGS hücrelerdir. III-V grubu hücreler ise daha çok verimlilik gerektiren uygulamalarda, örneğin uzay teknolojilerinde kullanılmaktadır. Şekil 3.3'te bulunan ABD Enerji Bakanlığı Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nın (NREL) yaptığı ve sürekli güncellediği çalışmada tüm hücre çeşitlerini ve verimliliklerini yıllara göre değişimini görmekteyiz. Belirli noktalarda her hücre çeşidinin en verimli hücresini üreten firmalar/laboratuvarlar da belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Yıllara göre bazı markaların PV hücre çeşitlerinin verimlilikleri[9].

3.2.1. Kristalin Fotovoltaik Modül

Oksijenden sonra dünyada en çok bulunan element olan silisyum, yarıiletken özelliktedir ve PV hücrenin bileşenlerinde en çok kullanılan materyaldir. Ancak silisyum doğada en yaygın kuartz ve kum (SiO_2) biçiminde bulunur. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi kuartz ve kum işlenip %99 saflıkta silika elde edilir. Elde edilen silikadan elektronik teknolojisinde kullanılabilen %99.9999 saflıkta silisyum elde edilir. Bu silisyum çeşitli yöntemlerle işlenerek çeşitli PV hücreler elde edilir[6].



Şekil 3.4. Polikristal Si kimyasal süreç[6].

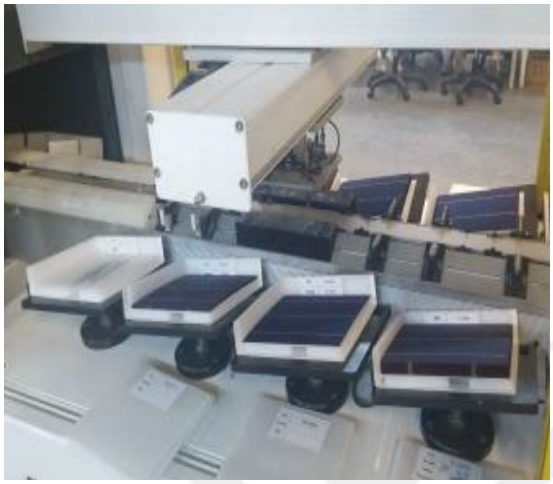
Bir PV modül üreten fabrikadaki modül üretim aşamalarını inceleyelim:

İlk olarak, saf silisyumdan elde edilen ignot denilen kalıplardan ince ince kesilerek üretilen wafer'ların (Şekil 3.5) katot kısmına (gri yüzey) sıvı halde gümüş ile üç tane kesikli şerit şeklinde kaplama yapılır. Daha sonra fırına verilir. Fırından çıktıktan sonra katot yüzeyi gümüş kısımlar haricinde alüminyum ile kaplanır ve tekrar fırınlanırlar.



Şekil 3.5. Hücre üretim süreçlerinden bir görüntü.

Daha sonra anot yüzeyine çok ince gümüş şeritler ve lehim yapılabilmesi için üç büyük şerit çekilir ve yine fırınlanırlar. Art arda yedi farklı sıcaklıkta fırına girdikten sonra verimleri tek tek kontrol edilir ve verimlerine göre ayrı yerlere (Şekil 3.6) bırakılan hücreler artık modül üretimi için hazırdır. Tüm bu işlemler tek bir makinede yapılır.



Şekil 3.6. Hücrelerin verimlerine göre ayrılması.

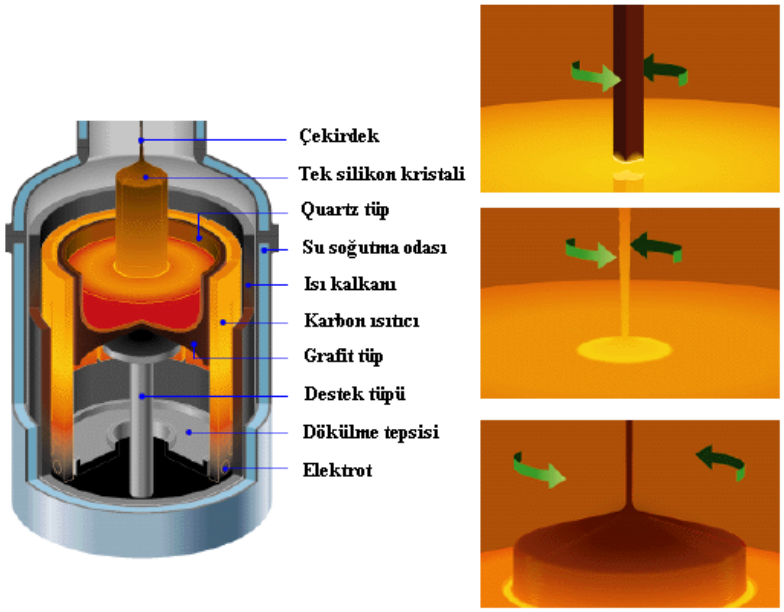
Modül üretimi için hazır olan hücreler yüzlü desteler halinde ayarlanır ve hücreleri birbirine elektriksel olarak seri bağlayan makinelerine gönderilir. Yarı robotik makinelerde lehimlenen hücreler robot kol tarafından en altta cam ve üstünde etil vinil asetat (EVA) olacak şekilde hazırlanmış cama sıralanır ve elle lehim yapılacak bölüme gönderilir. Layup adı verilen bu bölümde öncelikle hücrelerin hizalı olmasını sağlayan cetvellerin doğruluğu kontrol edilir sonra modül görsel kontrolden geçirilir, problem görülmezse hizalama ve sabitleme yapılır. 285mm'lik busbarlar lehimlendikten sonra hücrelerin üzerine EVA ve özel bir kâğıt koyulup El Test bölümüne gönderilir. El-test'den önce hizalama, kırık, cam, EVA boyu gibi kontroller yapılır. El-test'de ise busbarlardan belirli bir miktar elektrik verilerek kapalı bir ortamda iki kamera aracılığı ile özel bir fotoğraf çekilir ve buradaki görüntüye göre 31 farklı hata tipinden herhangi biri var mı bakılır. Yok ise laminasyona, var ise tamire gönderilir. Laminasyon, el-test'ten geçmiş hücrelerin altına ve üstüne yerleştirilen EVAların eriyerek cam, hücre ve backsheet'in birbirine yapışmasını sağlayan bir fırınlamadır. Bu fırınlama yaklaşık on beş dakika sürer bu süre sonunda fırından çıkan çerçevesiz modüller soğutulmak üzere birkaç dakika soğutucu fanlar üzerinde bekletilir ve ardından çerçevelemeye gönderilir. Çerçeveleme işlemi için modüllerin öncelikle kenarlarındaki fazlalıklar temizlenir. Dayanıklılığının ve korumasının artması, çerçeveye tam oturması için kenarlarına özel

çift taraflı bant yapıştırılır. Çerçeveler ve modül çerçeveleme makinesine yerleştirilir ve makine presleme işlemini yapar. Daha sonra busbarlara Junction Box montajı yapılır ve ardından son testler için Final Test bölümüne gönderilir. Final testte modülün hem detaylı görsel kontrolü hem de elektriksel değerlerinin kontrolü yapılır. Belirli ortam koşulları sağlanmış test odasında, güneş ışığı simülasyonu cihazında modülün gücü ölçülür ve kısa devre akımı, maksimum gerilimi ve akımı ölçülerek etiketine yazılır. Final testten sonra modüller paketlenip depoya gönderilir.

3.2.1.1. Monokristal (c-Si) Fotovoltaik Modül

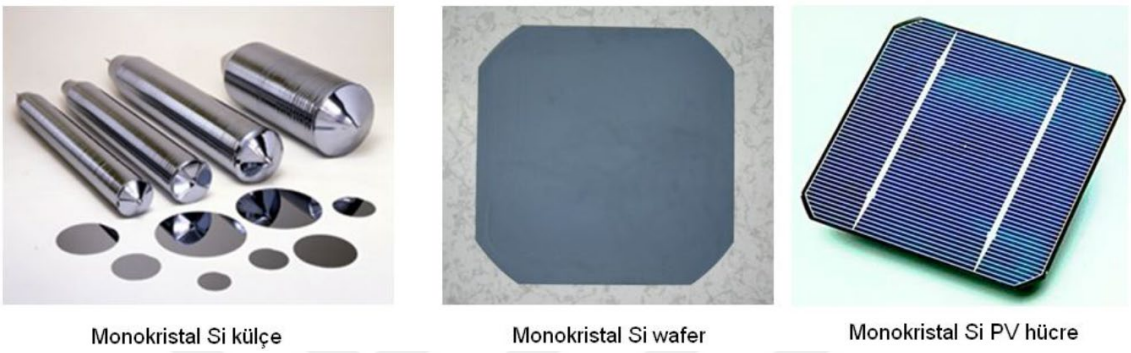
Monokristal modüller polikristale benzer özellik göstermektedir, hücre üretimi farklı olup modül üretimi neredeyse aynıdır. Hücreler polikristalden daha verimli ancak üretim süreçleri daha maliyetlidir.

Monokristal silisyum, Şekil 3.7'de gösterilen Czochralski (Cz) yöntemiyle saf silisyumdan üretilir. Bu yöntemde, silikon 1415-1420 °C sıcaklıkta grafit kaplı endüksiyon fırınında eritilir. Erimiş haldeki silikon kristali dönen bir çubuğun üzerine yerleştirilir. Çubuk dönme hızı dakikada 10 ila 40 tur arasındadır. İstenilen kalınlığa gelmiş birkaç metre uzunluğunda ve yaklaşık 30 cm çapında olan monokristal çubuklar/silindirler, elmas testere kullanılarak altından kesilir. Önce silindirin kenarları kesilirse, oluşan madde kare görünümlü olur[6, 21].



Şekil 3.7. Czochralski (Cz) yöntemi[6, 21].

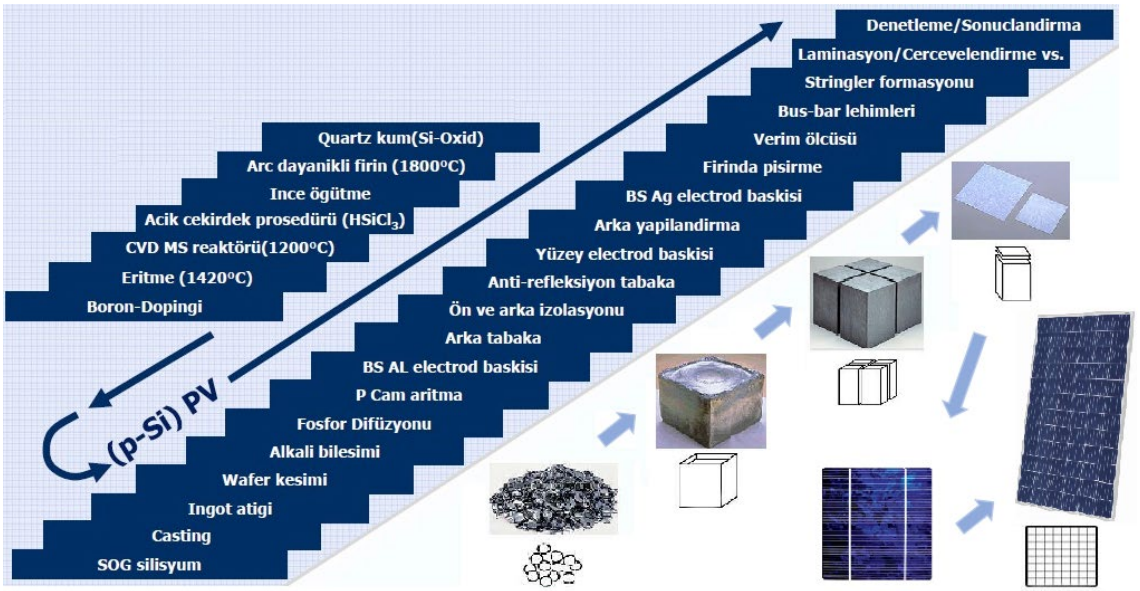
Şekil 3.8'de örnek monokristal hücre gösterilmiştir. Monokristalli silikon bazlı güneş hücreleri, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede mükemmel bir verime (standart test koşullarında %26) sahiptir. Bu teknolojinin dezavantajı üretim sırasında kesme işlemleri uygulanırken hammaddenin %40-%50'sinin toza veya kullanılmayan parçalara dönüşmesidir. Bu sebeple hücre başına maliyet artmaktadır. Günümüzde ticari monokristalin hücresinin verimliliği, yaklaşık %18-22'dir[21, 22].



Şekil 3.8. Monokristal hücre[6, 21].

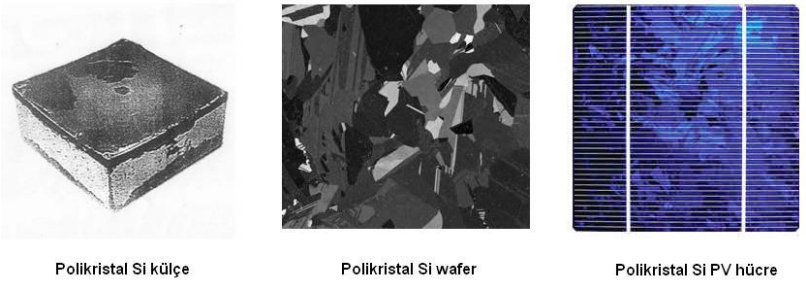
3.2.1.2. Polikristal (mc-Si) Fotovoltaik Modül

Bir silikon bloğu oluşturmanın bir başka yöntemi, dikdörtgen yapılı blok şeklindeki bir kalıpta saflaştırılmış silikon kayalarını eritmektir. Silikon yavaşça soğutulduğunda blok şeklinde katılaşır. Ancak katılaşma işleminde atomlar, Cz yönteminde olduğu gibi büyük tek kristal halinde hizalanmazlar.



Şekil 3.9. Polikristal hücre üretim aşamaları[6, 23].

Tek kristal yapılı küçük bölgeler, yan yana, farklı taneciklerin bir polikristal bloğunu meydana getirirler. Taneler arasındaki sınırlarda, hatalı atomik bağların mevcut akışa müdahale etmesi mümkündür ve tipik olarak eşdeğer bir şekilde işlenmiş tek kristal hücrelere kıyasla tipik olarak biraz daha düşük bir çıktı üretilir. Cz hücrelerinde olduğu gibi, büyük blok dilimlenerek polikristalli gofretler(wafer) üretilir.

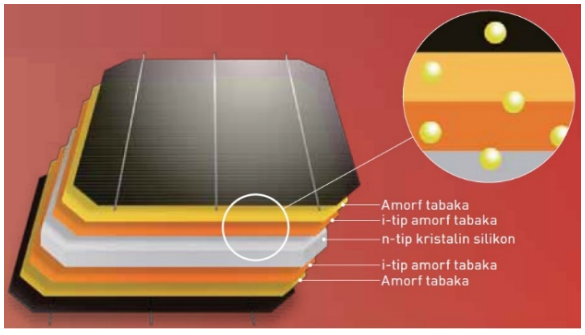


Şekil 3.10. Polikristal hücre[6].

Şekil 3.9'da üretim işlem basamakları özetlenmiştir. Günümüzde ticari polikristalin hücresinin verimliliği, yaklaşık %15-19'dur. Polikristal hücreler kare şeklindedir. Şekil 3.10'da görüleceği üzere biçimsiz küçük parçalardan oluşmuş gibi ve mavimsi renkte bir görünüşleri vardır.

3.2.1.3. Silikon Heterojonksiyon(HIT) Fotovoltaik Modül

Kristalin silikon katman, ultra ince amorf silikon tabakası arasına yerleştirilmiştir. Bu amorf silikon tabakalar yüzeyde elektron kaybını azaltarak yüksek verim sağlamaktadır. Heterojonksiyon solar hücre çift yüzeyli bir yapıya sahiptir. Hücre, arka bölüm malzemesinden geri yansıyan güneş ışığından bile yararlanmaktadır.



Şekil 3.11. Silikon heterojonksiyon (HIT) hücre[24].

Ayrıca PV modüllerin en büyük sorunu olan çalışma sıcaklığı etkisinden monokristal ve polikristale göre daha az etkilenmektedir. Örneğin monokristal bir hücrenin gerilim

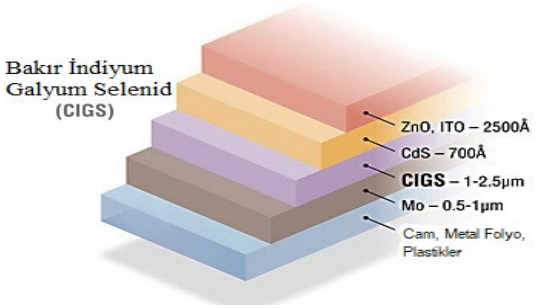
sıcaklık katsayısı -0,40 %/°C iken, HIT hücrelerin sıcaklık katsayısı -0,258 %/°C'dir[24]. Şekil 3.11'de HIT hücrelerin katmanları gösterilmiştir.

3.2.2. İnce-film Fotovoltaik Modül

İnce film güneş modüllerinin performansı, zayıf ışık koşullarında kristalin güneş modüllerinden daha iyidir, ancak genel olarak verimlilikleri daha düşüktür. Daha çok görsel tasarım için tercih edilen bu modüller kristal yapılı modüllere göre sıcaklıktan daha az etkilenir. İçeriğinde kullanılan elementlere göre değişen hücre çeşitleri mevcut olup genellikle çok ince tabaka oldukları için hammadde miktarı azdır. Ancak üretim maliyetleri yüksektir. İnce yapılarının avantajı olarak esnek malzemeler üzerinde kullanılabilmektedirler. GES'lerde ise iki cam arasına yerleştirilerek oluşturulan esnek olmayan modüller tercih edilmektedir. Bazı çatı veya cephe uygulamalarında ise esnek modüller kullanılabilir.

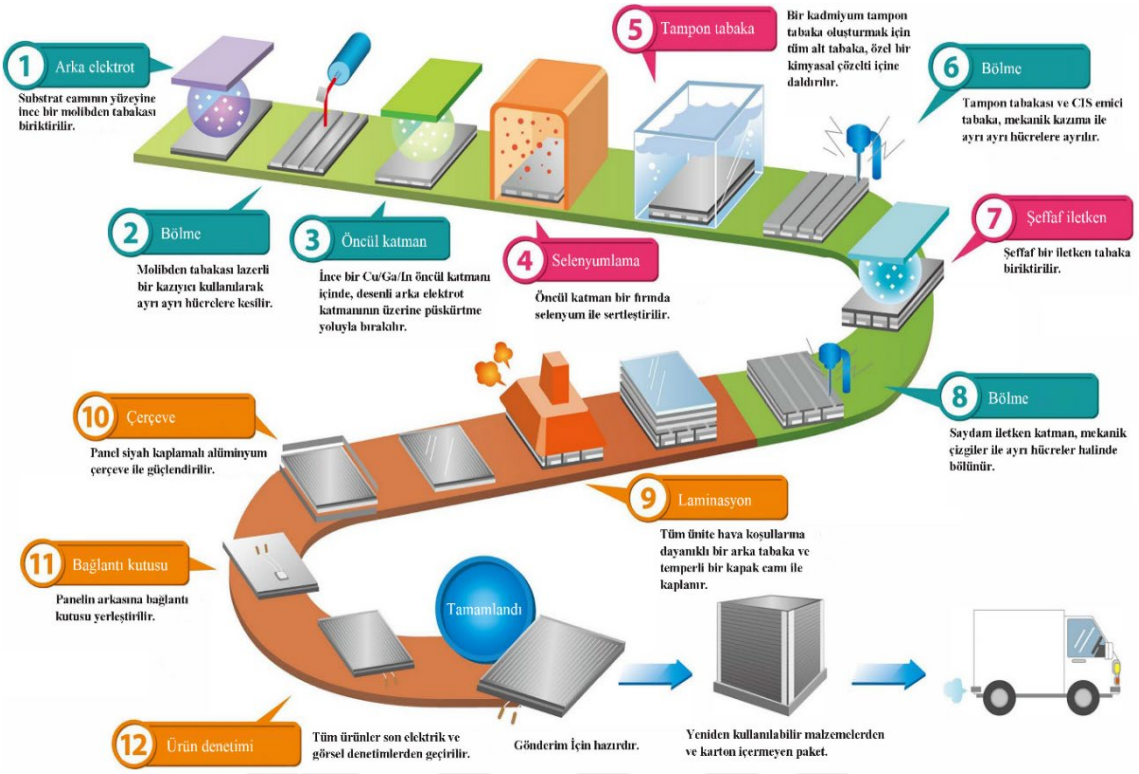
3.2.2.1. Bakır İndiyum Galyum Selenid (CIGS) Fotovoltaik Modül

Bakır indiyum galyum selenid güneş hücresi, akımı toplamak için ön ve arkadaki elektrotların yanı sıra plastik veya cam destek üzerine ince bir bakır, indiyum, galyum ve selenit tabakası biriktirilerek üretilirler. Şekil 3.12'de katmanları görülmektedir.



Şekil 3.12. Bakır indiyum galyum selenid (CIGS) hücre[25].

CIGS hücrelerde kullanılan malzeme yüksek bir emme katsayısına sahip olması ve güneş ışığını güçlü bir şekilde emmesi sebebiyle diğer yarı iletken malzemelere göre çok daha ince bir film gerektirmektedir. Bu sebeple CIGS katmanları esnek olabilmek için yeterince incedir ve esnek yüzeylerde kullanılabilmelerini sağlar. Ayrıca hammadde kullanımı da oldukça düşük miktardadır.



Şekil 3.13. Bakır indiyum galyum selenid (CIGS) hücre üretim aşamaları[23].

Aynı alanda üretilen enerji miktarları açısından verimlilik olarak kristalin modüllerin gerisinde kalsalar da verimlilikteki gelişmeler CIGS'i alternatif hücre malzemeleri arasında yerleşik bir teknoloji haline getirmiştir. Şekil 3.13'te üretim aşamaları görülmektedir.

3.2.2.2. Kadmiyum Tellürid (CdTe) Fotovoltaik Modül

CdTe tabanlı PV ince film teknolojisi olarak kabul edilir. Aktif katmanlar sadece birkaç mikron kalınlığında veya yaklaşık olarak insan saçının onda biri kalınlığındadırlar. Cd_2SnO_4 veya SnO_2 gibi şeffaf iletken oksit (TCO) katmanları görünür ışığa karşı saydamdır ve akımı etkin bir şekilde taşımak için yüksek iletkendirler. CdS gibi ara katmanlar, TCO ve CdTe arasında hem büyüme hem de elektriksel özelliklere yardımcıdır. CdTe, birincil foto-dönüşüm katmanı olarak işlev görür ve malzemenin ilk mikronu içindeki en görünür ışığı emerler. CdTe, orta ve TCO katmanları, CdTe film katmanında emilen ışığı akıma ve gerilime dönüştüren bir elektrik alanı oluşturur. Elektriksel temas için ızgaramsı ince metal üzerine bütün bu katmanlar yerleştirilir ve camlara biriktirilir. Birkaç saat içinde güneş modülleri elde edilmiş olur[9, 26].

3.2.2.3. Amorf Silikon (a-Si) Fotovoltaik Modül

Verimliliği düşük olduğundan, amorf silikondan yapılmış PV hücreler sadece cep hesap makineleri gibi küçük ölçekli uygulamalar için kullanılmıştır. Ancak son yıllarda GES için üretilmiş modüller de kullanılmaktadır.

Amorf silikon güneş pilleri en iyi geliştirilmiş ince film güneş pilidir. Yapı genellikle p-i-n (veya n-i-p) dualite tipine sahiptir, burada p-katmanı ve n-katmanı esas olarak amorf silikon içeren bir iç elektrik alanı (i-katmanı) oluşturmak için kullanılır. Şekilsiz silikon yüksek bir emme kapasitesine sahip olduğundan, i katmanı genellikle 0.2-0.5 μm kalınlığa sahiptir. Emme sıklığı, 1.1 eV emme sıklığına sahip olan silikon levhadan farklı olarak 1.1 ila 1.7 eV arasında değişmektedir. Kristalin aksine, amorf malzemenin yapısal homojenliği nispeten düşüktür. Elektronlar ve boşluklar malzemenin içinde gerçekleştirilir; bu nedenle, uzun mesafeli iletim durumunda, ikisinin yüksek bir bileşik olasılığı olabilir. Bu durumu önlemek için, i-tabakası çok kalın ya da çok ince olmamalıdır, çünkü ikinci problem kolayca yetersiz absorpsiyona yol açabilir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, amorf silikon güneş pillerinin tasarımında, optik absorpsiyon ile fotoelektrik verim arasında bir denge sağlamak için sıklıkla çok katmanlı bir yapı yığını kullanılır. Bu tür fotovoltaik hücrelerin doğal yetersizliği, SWE etkisi olarak da bilinen ışığa maruz kaldıktan sonra performansta %155 ile %35 arasında bir düşüş oranıyla kısa süreli ancak önemli bir düşüştür. Maddede doymamış silikon atomlarının bir kısmından kaynaklanır, bu ışığa maruz kalmadan dolayı yapısal değişiklikler gösterebilir. Yukarıda belirtilen çok katmanlı yığın yaklaşımı, SWE etkisinin üstesinden gelmek için bir çözümdür[7, 26].

3.3. Elektrikli Araçlar

1834-1836 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri'nde Thomas Davenport tarafından elektrikli aracın geliştirildiği ve uygulandığı raporlanmıştır. Üç tekerleği olan bu araç şarj edilemeyen bataryalarla enerjilendirilmiştir. 1859 yılından sonra kurşun asit bataryaları üretilmiş ve kullanıma sunulmuştur. 20. yy'da İYM teknolojisindeki gelişmeler ve fosil yakıtlı araçların toplu üretimi ile maliyetinin düşmesi, elektrikli araçların sonunu getirmiştir. 1970 ve 1980'lerdeki enerji krizleri sebebiyle elektrikli otomobillere sadece kısa bir süre ilgi duyulmuştur. Elektrikli otomobiller 21. yy'ın

başlarından itibaren batarya ve güç yönetimi teknolojilerindeki ilerlemeler, sera gazı azaltma gereksinimi ve değişken petrol fiyatlarının sebep olduğu endişelerden ötürü yeniden gündeme gelmiştir[27, 28].

Güç kaynağı ve tahrik cihazlarını dikkate alarak, EV üç farklı tipte sınıflandırılabilir:

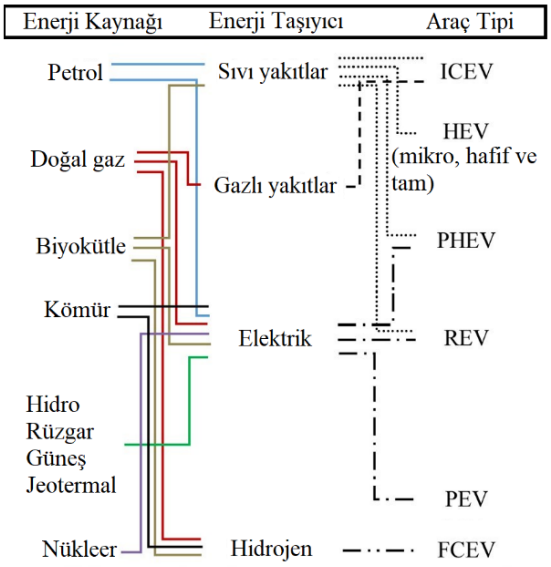
- Hibrit elektrikli araç (HEV)
- Yakıt hücreli elektrikli araç (FCEV)
- Saf (Tümü) elektrikli araç (PEV)

3.3.1. Hibrit Elektrikli Araçlar

HEV, İYM(ICEV) araç ve akülü elektrikli araç (BEV) özelliklerini birleştirir. HEV'in güç kaynakları benzin/dizel/gaz ve elektriktir. Tahrik, İYM ve elektrik motoruna ile sa"ğlanır. Farklı yakıt ikmali veya şarj yöntemlerine göre, HEV'ler geleneksel HEV'ler ve şebeke bağlantılı HEV'ler (plug-in HEV) olarak sınıflandırılabilir. Kombinasyon seviyelerine dayanarak, konvansiyonel HEV ayrıca üç tipte geliştirilebilir: mikro, hafif ve tam hibrit[28].

- **Mikro Hibrit Araç:** En basit hibrit araçlardır. Trafikte dur-kalk yapılması gereken zamanlarda İYM'yi otomatik olarak durdurarak yakıt tüketimini azaltan sistemlerdir. Bu tip hibrit araçlarda akü grubu, jeneratör ve elektrik motoru gibi aksamlar mevcut değildir.
- **Hafif(Mild) Hibrit Araç:** Mikro hibrit araçların özelliklerine ek olarak, frenleme esnasında kaybolan enerjiyi geri depolayabilir. Bu tip araçlar 48 voltun üzerinde çalışabilirliğe ve İYM'yi destekleyici bir elektrik motoruna sahip araçlardır.
- **Tam(Full) Hibrit Araç:** Hafif hibrit aracın özelliklerine ek olarak sadece elektrik motorunu kullanarak seyredebilme özelliğine sahip araçlardır. Araç bataryası, elektrik şebekesine bağlanarak şarj edilebilen araçlara ise Plug in(fişli) hibrit araç denmektedir.

Şekil 3.14, enerji kaynağı ve tahrik cihazına bağlı olarak farklı EV kategorilerini gösterir.

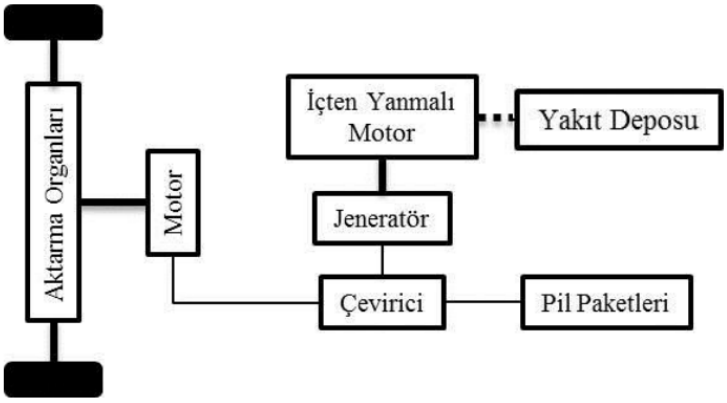


Şekil 3.14. Enerji kaynağına göre elektrikli araç çeşitleri[28].

Hem elektrikli motor hem de İYM kullanıldığı için HEV'in sürüş menzili ICEV ile karşılaştırılabilir. Mevcut pil teknolojisinin durumu nedeniyle HEV, PEV'den daha fazla avantaj sağlıyor gibi görünmektedir. Bununla birlikte, HEV'de İYM ve gaz/dizel/benzin ihtiyacı ortadan kalkmaz bu nedenle sıfır emisyon yoktur[27-30].

3.3.1.1. Seri Hibrit Elektrikli Araçlar

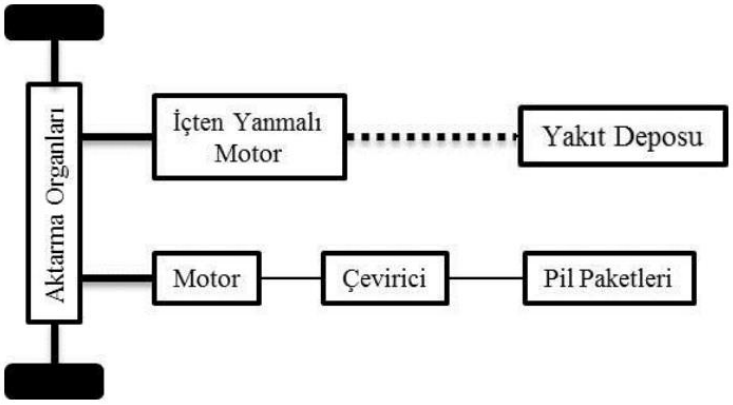
Seri hibrit sistemde, İYM ile bir dinamo çevrilir. Dinamo, hem aküyü şarj eder hem transmisyonu kontrol eden elektrik motoruna güç sağlar. Bu sebeple, İYM araca direkt olarak güç sağlamaz. İYM hızı taşıtın hızından ayrı olarak kontrol edilebilir. Bu sayede motor kontrolü basitleşir, motorun çalışması en iyi yakıt ekonomisinde ve optimum hızda gerçekleşir. Ayrıca bu durum motorun konumlanmasında da esneklik sağlar. Araca mekanik gücü elektrik motoru verdiği için geleneksel mekanik şanzımanlara da gerek yoktur. Bu hibrit araçlarda, yakıt deposundan itibaren, transmisyon ile bağlantılı parçalar bir hat üzerinde bulunur. Şekil 3.15 seri hibrit araçları özetlemektedir[27-30].



Şekil 3.15. Seri hibrit elektrikli araç[29].

3.3.1.2. Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

Paralel hibrit elektrikli araçlarda motora yakıt sağlayan bir yakıt deposu ve elektrik motoruna güç veren bir akü grubu mevcuttur. Elektrik motoru ve İYM birlikte transmisyon sistemine güç verir ve bu sayede araç hareket ettirilir[27-30].

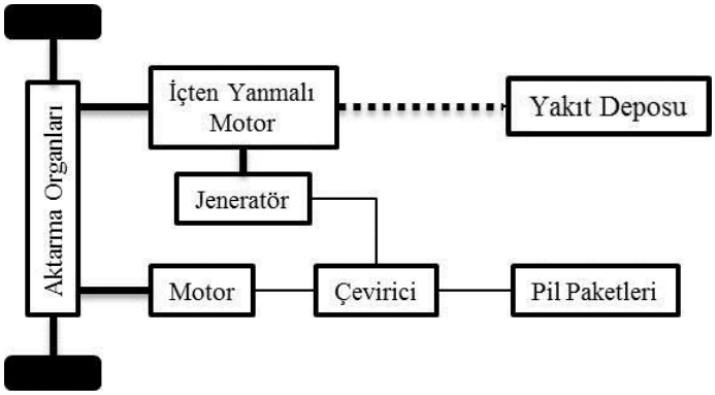


Şekil 3.16. Paralel hibrit elektrikli araç[29].

Seri hibrit sisteme göre biraz daha karmaşık bir mekanik sistem vardır. Şekil 3.16 paralel hibrit araçları özetlemektedir.

3.3.1.3. Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

Bu tür araçlarda İYM mekanik bir mil üzerinden hem transmisyona hem de elektrik jeneratörüne hareket sağlamaktadır. Jeneratörün ürettiği elektrik enerjisi, seri hibrit araçlarda olduğu gibi aküde depolanır. Paralel hibrit sistemde olduğu gibi, İYM ile elektrik motoru aynı mekanik mil üzerindedir. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar hem seri hem de paralel tahrik sistemlerinin avantajlarını taşımaktadır[27-30].

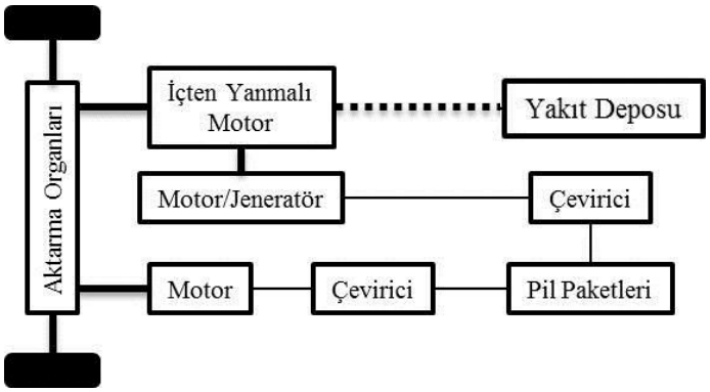


Şekil 3.17. Seri-paralel hibrit elektrikli araç[29].

İYM normal şartlarda en verimli noktasında çalışarak, jeneratör sayesinde akü grubunu ve elektrik motorunu besler. Daha fazla moment gerektiğinde mil üzerinden elektrik motoruna destek olur. Şekil 3.17 seri-paralel hibrit araçları özetlemektedir.

3.3.1.4. Kompleks Hibrit Elektrikli Araçlar

Seri-paralel hibrit elektrikli araçlara benzer şekilde jeneratör ve elektrik motoru kompleks hibrit elektrikli araçlarda da bulunur. Bu araçlarda jeneratör/elektrik motoru çift yönlü enerji akışı sağlarken, seri-paralel hibrit araçlarda jeneratör tek yönlü enerji akışı sağlamaktadır. Bu çift yönlü enerji akışı çok çeşitli çalışma durumlarına imkân tanımaktadır. Örneğin seri-paralel hibrit araçlarda gerçekleştirilemeyen, tüm motorların aynı anda çalışması durumu gerçekleştirir[27-30].



Şekil 3.18. Kompleks hibrit elektrikli araç[29].

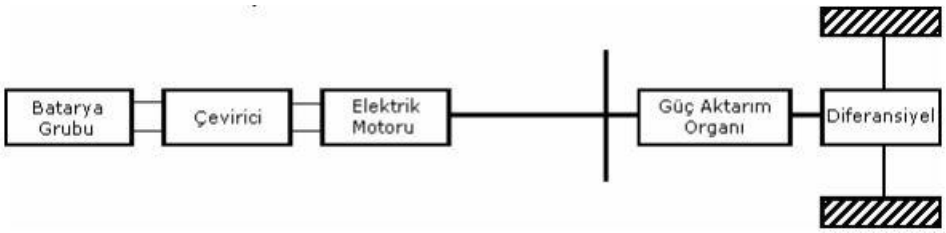
Şekil 3.18 kompleks hibrit araçları özetlemektedir. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlara benzer şekilde, kompleks hibrit elektrikli araçlar da karmaşıklık ve yüksek maliyete sahiptir.

3.3.2. Yakıt hücreli elektrikli araç

Yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV'ler) hidrojenden güç alırlar. Geleneksel İYM araçlardan daha verimlidirler ve zararlı egzoz gazı emisyonu üretmezler, sadece su buharı ve ılık hava yayarlar. FCEV'ler, hidrojen olarak depolanan enerjinin yakıt hücresi tarafından elektriğe dönüştürüldüğü, elektrikli araçlara benzer bir tahrik sistemi kullanırlar. Geleneksel İYM araçlara benzer şekilde, 5 dakikadan daha az bir sürede yakıt alabilirler ve 500 km üzerinde bir sürüş menziline sahip olabilirler. FCEV'ler, verimliliği artırmak için frenleme sırasında kaybedilen enerjiyi yakalayan ve bunu bir aküde saklayan rejeneratif fren sistemleri gibi diğer gelişmiş teknolojilerle donatılmıştır. Ancak, başlangıçtaki yüksek maliyet ve yakıt ikmali istasyonlarının bulunmaması, FCEV'in başarısı için hala önemli bir zorluk olarak kabul edilmektedir[27-30].

3.3.3. Tümü Elektrikli Araçlar

Tümü elektrikli araçlarda İYM veya yakıt hücresi bulunmamaktadır. Şekil 3.19 tümü elektrikli araçları özetlemektedir. Sahip olduğu akülerden enerji alan bir veya birden fazla elektrik motoru ile hareket ettirilen araçlardır. Bazı araçlarda akülere süper kapasitörler de eşlik ederek anlık yüksek akım çekileceğinde akülerin dezavantajını ortadan kaldırarak istenilen enerjiyi verebilmektedirler. Ayrıca frenleme esnasında elektrik üretip aküleri şarj edebilmektedirler. Günümüzde gelişme ve yaygınlaşma sürecinde olan tümü elektrikli araçlar özellikle Tesla şirketi sayesinde ön plana çıkmış, diğer araç üreticilerini de elektrikli araç üretmeye zorlamıştır. Günümüzde neredeyse her üreticinin en az bir elektrikli araç modeli bulunmaktadır.



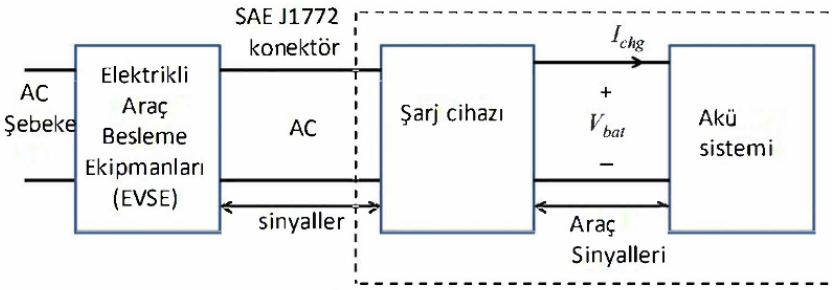
Şekil 3.19. Tümü elektrikli araç[31].

Tümü elektrikli araçlar yüksek torka sahip olduklarından hızlanmaları oldukça iyidir. Çok sessiz çalışmaları, sıfır emisyon ve daha birçok avantajı bulunmaktadır. En büyük dezavantajı ise şarj istasyonu yetersizliği ve şarj hız süreleridir. Menzil ise ikinci

dezavantajıdır. Menzil konusu akü teknolojisi geliştikçe çözülmekte veya daha fazla akü kullanarak halledilebilmekte olsa da şarj istasyonu konusu çok önemli bir konudur. Bu istasyonları besleyen enerji kaynaklarını hesaba katarak, EV'lerin doğrudan veya dolaylı olarak bir elektrik santrali ve/veya elektrokimyasal reaksiyonlardan enerji almaktadır. Bu nedenle, toplam EV emisyonlarını iyileştirmek için çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalıdır[27-30].

3.4. Elektrikli Araç Şarj İstasyonu

Elektrikli araç şarj istasyonu, elektrikli araçları ve plug-in hibrit araçları şarj etmek için bir elektrik kaynağına bağlayan ekipmanlardır. Bazı şarj istasyonları akıllı ölçüm, hücresel özellik ve ağ bağlantısı gibi gelişmiş özelliklere sahipken, diğerleri daha temel fonksiyonlara sahiptir. Şarj istasyonlarına ayrıca elektrikli araç tedarik ekipmanı (EVSE) adı verilir ve belediye otoparklarında elektrik hizmet şirketleri tarafından veya perakende alışveriş merkezlerinde özel şirketler tarafından sağlanır. Bu istasyonlar, çeşitli elektrikli şarj konnektör standartlarına uyan özel konnektörler sağlar. EVSE kullanma ücretleri aylık veya yıllık sabit oranlardan kWh başına saatlik ücretlere kadar değişebilir. Bu cihazlarda haberleşme Wi-Fi, GPRS, RS-485, TCP/IP gibi iletişim sistemleri ile sağlanmaktadır. Kullanıcılar için Radyo Frekansı Tanımlaması (RFID) kart okuyucu gibi donanım bulunmaktadır. Şarj istasyonları ücretsiz olabilir ve genellikle yerel yönetim tarafından sübvanse edilir[28, 30, 32-37].

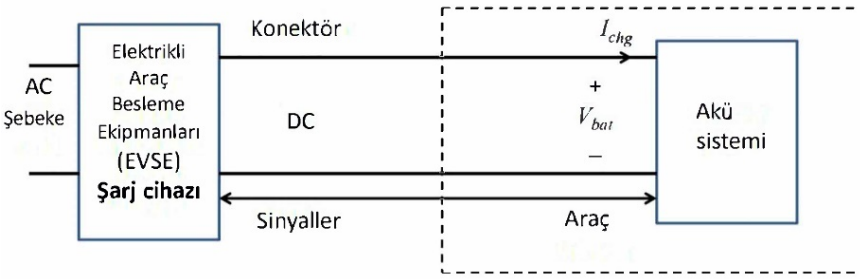


	Voltaj [RMS]	Maksimum Akım [RMS]
AC Seviye 1	120 V	16 A
AC Seviye 2	240 V	32 A 80 A

Şekil 3.20. EVSE-elektrikli araç bağlantısı[30].

Şekil 3.20'de özetle şebeke ile EVSE ve elektrikli araç bağlantıları gösterilmiştir. Farklı EVSE tipleri farklı şarj hızları sağlarlar. Seviye 1 şarj istasyonları 120 volt (V), alternatif

akım (AC) fişi kullanır ve her bir şarj saati için yaklaşık 5 mil menzil sunan özel bir devre gerektirir. Seviye 2 istasyonları bir 240V, AC fişi ile şarj olur ve evde şarj veya genel şarj ekipmanı kurulmasını gerektirir. Seviye 2 istasyonları, her şarj saati için 10 - 20 mil menzil sağlar. Seviye 2 şarj cihazları en yaygın olanıdır ve ev sistemi ile yaklaşık aynı oranda şarj eder[30, 32].



Şekil 3.21. EVSE-elektrikli araç bağlantısı (DC)[30].

Seviye 3 şarj cihazları ayrıca DC hızlı şarj cihazları olarak da bilinir. Şekil 3.21'de elektrikli araç ile olan bağlantısı gösterilen Seviye 3, 480V, doğru akım (DC) fişini kullanır. Yerleşik şarj cihazını atlarlar ve özel bir şarj portu üzerinden aküye DC elektrik sağlarlar. DC Hızlı Şarj Cihazları, her 10 dakikada bir şarj için ortalama 40 mil menzil sağlar, ancak tüm araçlarla uyumlu değildir. Ek olarak, Tesla Supercharger gibi bazı özel şarj istasyonları önemli ölçüde daha yüksek hızlı şarj için tasarlanmıştır. Daha genel olarak erişilebilir şarj istasyonları için talep arttıkça, şu anda mesken ESVE'de bulunmayan yüksek voltaj ve akımlarda daha hızlı şarjı destekleyen ekipmana daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel olarak, elektrikli araç ağlarının sayısı, EV şarjı için halka açık şarj istasyonları sistemi sağlamak için artmaktadır[28, 32-37].

Şarj istasyonları için bölgelere göre değişkenlik gösteren farklı standartlar mevcuttur. Kuzey Amerika otomotiv endüstrisinin standardı Society of Automotive Engineers (SAE) tarafından hazırlanan J1772 standardıdır. Genellikle Avrupa ve Çin'de kullanılan 61851 standardı International Electrotechnical Commission (IEC) tarafından hazırlanmıştır. Tokyo Elektrik Enerjisi Şirketi (TEPCO), Nissan, Mitsubishi, Subaru ve Toyota iş birliğiyle Japonya'da CHAdeMO standardı oluşturulmuştur. CHAdeMO, aslında EV'lere Japonya Otomobil Araştırma Enstitüsü (JARI) konnektörü üzerinden yüksek güç aktarabilen hızlı şarj yönteminin ticari adı olarak söylenebilir. Japonya'nın yanı sıra Amerika ve Avrupa'da da kullanılmaktadır[28, 30, 32-41].

Elektrikli araç sayısının artması şarj istasyonu sayısına bağlıdır. Aynı zamanda şarj istasyonlarının sayısının artması da elektrikli araç sayısının artmasına bağlıdır. Birbirine bağımlı bu iki değişkenin aynı anda belirli teşviklerle harekete geçirilmesi piyasadaki elektrikli araç ve EV şarj istasyonu artışını ivmelendirecektir. Ancak bunu yaparken toplam EV emisyonlarını iyileştirmek için şarj istasyonu enerji kaynağı olarak çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalıdır.

4. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

Bir güneş modülünün çıkış gücü, modüle düşen güneş ışığının miktarına bağlıdır. Güneş modüllerini hareket ettirerek güneşe yönelmelerini sağlayıp elektrik üretimleri maksimuma getirilebilir. Modülleri gelen güneş ışığına dik olacak şekilde yönelten elemanlara izleyici denir. Bu izleyiciler modülleri tek bir eksende, örneğin doğu-batı ekseninde, yönlendirebileceği gibi çift eksende de yönlendirebilir. Ancak bu durum enerji üretim miktarını artırmaya yarasa da ve maliyeti de artırır. Modüllerin güneşe göre anlık konumlarını belirleyecek konstrüksiyon çeşitleri üç başlıkta toplanabilir; sabit, tek eksenli takip ve çift eksenli takip sistemleri. Takip sistemleri ise elektronik açıdan kısaca iki ana başlıkta toplanabilir; sensörlü ve matematiksel takip sistemleri[5, 42].

4.1. Sabit Sistem

Sabit sistem GES'lerde en çok tercih edilen ve yatırım maliyeti en düşük olan sistemdir. Bu konstrüksiyon sisteminde verimlilik açısından en önemli konu doğru açıyı belirlemektir. Sabit bir yapı olacağı için yanlış açı seçimi düşük enerji üretimine sebep olacaktır. Açı seçimini belirlerken dikkat edilecek hususlar ise, GES'in bulunduğu enlem, modüller arası mesafeler, arazinin eğimi ve eğimin yönü, yılın hangi aylarında enerjiye daha çok ihtiyaç duyulduğu vb. konular olarak ele alınabilir. Tüm bu bileşenlerin geleneksel hesaplama yöntemleri ile hesaplamak mümkün olacağı gibi daha doğru sonuçlar almak için modelleme yaparak optimum açı değerini size sunan veya belirlediğiniz açı değerlerini aylık/yıllık üretim değerleri bakımından kıyaslayan yazılımlar da mevcuttur. GES sektörü bu yazılımları kullanarak proje ve tasarımları yapmaktadır.



Şekil 4.1. Sabit konstrüksiyonlu GES.

Optimum açı değeri belirlendikten sonra rüzgâr yükü, kar yükü gibi dış kuvvetlere dayanıklı olması için ilgili inşaat hesapları da yapılmaktadır. Şekil 4.1'de sabit sisteme örnek GES fotoğrafı bulunmaktadır.

4.2. Tek Eksenli Takip Sitemi

Tek eksenli güneş takip sistemleri genel olarak; Doğu-Batı yönlü ve Kuzey-Güney yönlü olmak üzere iki çeşittir. Sabit sisteme göre modüller güneş ışınlarını daha dik açıyla alacağı için kurulan sisteme göre değişmekle birlikte ortalama %8-%18 civarında verim artışı olmaktadır.

4.2.1. Manuel Tek Eksenli Takip Sitemi

Manuel tek eksenli takip sistemleri kurulum maliyetini düşürmek için motor, sensör, yazılım ve kontrol sistemi gibi bileşenler içermeyen el ile kontrol edilen bir sistemlerdir. El ile kontrol edileceği için çok sık yön değişimi yapılamamaktadır. Dolayısıyla bu sistemle doğu-batı yönlü takip pek mümkün olmamaktadır. Güneşi kuzey-güney yönlü takip eden bu sistemlerde GES'in büyüklüğüne bağlı olarak yılda 2 ila 4 kez (sayı imkanlar doğrultusunda artırılabilir) modüllerin açı değişimi yapılarak güneş takibi sağlanır. Bu sistem sabit sisteme oldukça benzer olup sabit sistemde belirlenen açı değeri gibi bir açı değeri belirlenir. Bu değer yılda kaç kez ve hangi aylarda açı değişimi yapılacağı göz önünde bulundurularak belirlenir. Örneğin Mart ve Eylül aylarında yılda iki kez değişim yapılacak ve 30^{o} Kuzey enlemlerinde bulunan bir GES için mart ayında ayarlanacak değer 30^{o} iken eylül ayında 15^{o} şeklinde seçilebilir. Bu seçim yapılırken gölge oluşumuna dikkat edilerek arazinin eğimi, modüller arası mesafeler gibi unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. El ile değiştirilebilir bu sistemlerde işletme maliyeti olarak değişiklik işi yapacak personelin günlük maliyeti ve işin kaç gün süreceği hesaplanmalıdır. Ayrıca döner aksamlarda herhangi bir sorun olup olmadığı her açı değişiminde kontrol edilmelidir.



Şekil 4.2. Manuel tek eksenli takip sistemine sahip GES.

Şekil 4.2'de görseli mevcut olan manuel tek eksenli takip sistemi uygun fiyatlı ve sabit sisteme alternatif güzel bir çözümdür. Ancak GES'in işletme/bakım ve takibi ulaşım vb. durumlardan dolayı zor yapılacak seviyedeyse bu sistemler önerilmez.

4.2.2. Otomatik Tek Eksenli Takip Sitemi

Otomatik tek eksenli takip sistemleri güneşi doğu-batı ekseninde(güneşi doğuşundan batışına kadar izler) takip etmektedir. Çok az da olsa kuzey-güney eseninde takip edenleri de bulunmaktadır. Bu sistemlerde motor, kontrol yazılımı, sensör ve/veya yazılımsal takip ekipmanları bulunmaktadır. İşletme ve bakım maliyetleri sabit ve manuel tek eksenli takip sistemlerine göre biraz daha fazladır. Verimlilikleri de sabit sisteme oranla %10-%18 daha fazladır.



Şekil 4.3. Otomatik tek eksenli takip sistemine sahip GES üstten ve alttan görünüş.

Bu sistemlerde en önemli kısım motor mekanizmasıdır. Herhangi bir arıza durumunda güneş takip edilemediği için enerji üretiminde düşüş olacak ve arıza giderilene kadar üretim kaybı yaşanacaktır. Bu sebeple optimum sistem tasarımı her konuda olduğu gibi burada da oldukça önemlidir. GES'lerde oluşan enerji üretimini engelleyecek her arıza yatırımın geri dönüş süresini uzatacağından en az arıza oluşturan ekipman seçimi yapılmalı ve arıza durumunda en hızlı çözümler sunulmalıdır. Şekil 4.3'te görseli de bulunan otomatik tek eksenli takip sistemini güney eğimli arazilerde kullanmak oldukça verimli olmaktadır.

4.3. Çift Eksenli Takip Sitemi

Çift eksenli takip sistemleri güneş ışınlarını dik açıyla alabilmek için tasarlanmışlardır. Doğu-batı, kuzey-güney eksenlerinde güneşi takip edip enerji üretimini en üst seviyede tutmaktadır. Sabit sistemlere göre %20-%40 daha verimlidirler. Çift eksenli takip sistemleri bir direk üzerinde kare veya dikdörtgen şeklinde döner bir masa (belirli sayıda modülden oluşan modül grubu) ve bu masayı hareket ettiren motor birleşiminden oluşur. İlk bakışta basit bir görünüme sahip olsalar da bu sistemleri tasarlarken dikkat edilecek nokta döner masa boyutlarıdır.

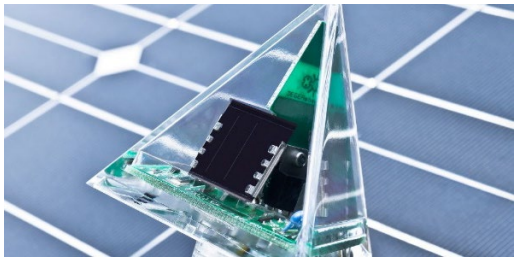


Şekil 4.4. Çift eksenli takip sistemine sahip GES.

Şekil 4.4'te örneği bulunan bu döner masaların boyutları büyüdükçe rüzgâr yükü, konstrüksiyon ve toplam modül ağırlığı da artacağı için motor gücü artmaktadır. Bu da maliyeti artırmakta ve yatırımın geri dönüş süresini uzatabilmektedir. Çift eksenli takip sistemleri kontrol yöntemine göre kapalı döngü veya açık döngü olabilir. Tahrik sistemine göre pasif veya aktif olabilir. Güneşin konumunu belirlemede yöntemi ise tarih-zaman(matematiksel) tabanlı, sensör tabanlı veya her ikisini birlikte kullanan hibrit tabanlı olabilmektedir.

4.3.1. Sensörlü Takip Sitemi

Maksimum ışık algılama prensibi, güneş modülünün gelen ışınları olabilecek en dik şekilde almasını sağlar. Gelen ışınım miktarını ölçen sensör en fazla ışınım olan yöne doğru sistemi yönlendirir. Farklı özellikte sensörler ve yazılım sistemleri mevcuttur. Bu sensörler sadece güneş ışığını dikkate almakla kalmaz, aynı zamanda, kar, su veya açık renkli kayalardan yansıyan ışığı veya bulutlara nüfuz eden dağınık güneş ışığını da dikkate alınır. Burada önemli olan yalnızca doğrudan verim artışı ile sonuçlanacak hareketleri gerçekleştirebilmektir.



Şekil 4.5. Örnek bir sensör[43].

Örneğin PV modüle gelmeyen ancak direk sensöre gelen küçük bir yansıma sensörün yanlış yönlendirmesi ve PV modülden en yüksek verimi alamamakla sonuçlanabilir. Bunun önüne geçmek için birkaç sensörün iş birliği ve iyi tasarlanmış yazılımlarla olmaktadır ancak yine de hatalar olabilmektedir. Şekil 4.5'de örnek bir sensör gösterilmektedir. Bu sensörün iç kısmında üç ayrı sensör bulunmaktadır.

4.3.2. Matematiksel Takip Sitemi

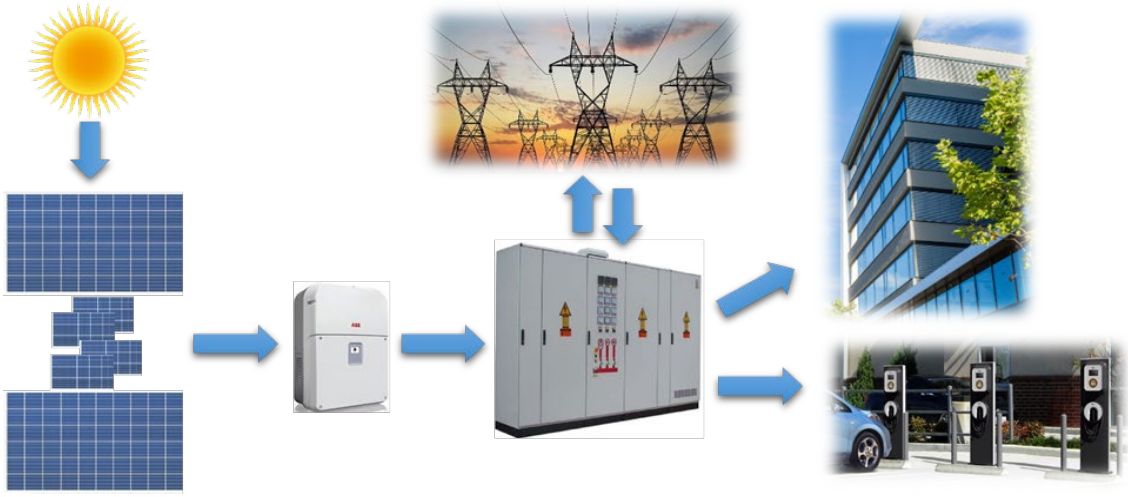
Takip sensörsüz olarak enlem ve boylam bilgilerine göre güneşin konumunu anlık hesap eden yazılımsal bir sistemle yapılmaktadır. Bu sistem sensörlü takip sistemindeki olası kamaşma, kirlenme ve sensör arızası gibi sebeplerle yanlış yönlendirme sorunlarının önüne geçmektedir. Ayrıca sensör gibi ek bir aparata ihtiyaç olmadığı için işçilik ve bakım maliyetleri daha düşük olmaktadır. Bu sistemin bulutlu günlerde bile güneşi takip etmektedir. Ancak her zaman güneşi takip etmek optimum çözüm olmayabilir. Örneğin bulutlardan yayılan dağınık güneş ışığı veya kar vb. parlak yüzeylerden gelen ışınlardan daha çok enerji üretilebilecekken önünde engel olduğu için yeterli düzeyde ışın gelmeyen güneşi takip etmesi optimum çözüm olmamaktadır.

4.3.3. Hibrit Takip Sitemi

Hibrit sistemler hem sensörlü hemde konuma bağlı takip yapan matematiksel sistemin avantajlarını birleştirip kusursuz bir izleme sağlar. Kusursuz izleme elbette çok iyi bir yazılım sayesinde olmaktadır. Güneşin konumu matematiksel olarak izlenirken sensörlerden gelen veriler de dikkate alınarak en doğru konuma PV modülleri yönlendirmektedir. Bu sistemlerde kurulum maliyeti diğerlerinden yüksek olduğu için bölgesel olarak değerlendirip verimliliği yatırım maliyetini kısa sürede amorti edeceğinden emin olunduğu zaman kesinlikle kullanılmalıdır.

5. FARKLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN BİNA MONTAJLI PV SANTRAL(BIPV) VE ŞARJ İSTASYONU

Elektrikli araçların satış rakamı olarak fosil yakıtlı araçların önüne geçmesi için en büyük engel yakıt istasyonu (şarj istasyonu) azlığıdır. Şarj istasyonları araç şarj olurken şebekeden yüksek miktarda enerji çektiğinden sorun çıkmaması için elektrik altyapısının bu gücü karşılayabilir olması gerekmektedir. Genellikle bu durum her yerde mümkün olmamaktadır. Bu sebeple altyapı iyileştirmesi yapmadan şarj istasyonu kurulumu yapmak mantıklı değildir. Bunun önüne geçmek için enerji kaynağını şarj istasyonuna yaklaştırarak hem altyapı maliyetinden kurtulup hem de enerji nakli sırasında oluşan kayıpları en aza indirmek için verimli bir yoldur. Böyle bir tasarım için kullanılabilecek en güzel sistemler yenilenebilir enerjiden güç alan santrallerdir. Ayrıca yenilenebilir enerji diğer elektrik ihtiyaçları için de kullanılması gereken 0 emisyonlu enerjidir. Günümüzde yaygınlaşmaya ve artan desteklerle desteklenen yenilenebilir enerji santralleri artık her alanda görülmektedir. Özellikle bina üzeri güneş enerji santralleri günümüzde oldukça popüler olup üretimle tüketimin aynı noktada yapılmasına olanak tanımıştır. Böylece nakil kayıplarını en aza indirmiştir. Buna ek olarak üretilen fazla enerji de şebekeye verilerek ihtiyaç olan noktaya iletilmektedir. Bunlara ek olarak bu sistemlere elektrikli araç şarj istasyonu ekleyerek geleceğe yönelik 0 emisyonlu yatırımlar yapılmalıdır. Bu tür projeler gerçekleştirilirken iyi tasarımlar yapılmalı ve doğru hesaplanan verimli projeler ortaya koyulmalıdır.



Şekil 5.1. Proje taslak gösterimi[1].

Tasarlanan proje Şekil 5.1'de gösterildiği gibi şebekeye ve birbirine irtibatlı GES, bina elektrik sistemi ve elektrikli araç şarj istasyonundan oluşmaktadır. Projedeki tüm aşamalar özetlenmiş, dikkat edilmesi gereken yerler vurgulanmış ve ilgili görsellerle konunun anlaşılması amaçlanmıştır. Çalışmanın bu konuda yön gösterici olması ümit edilip uygulanan sistemdeki enerji üretiminden elde edilen gerçek veriler değerlendirilmiştir.

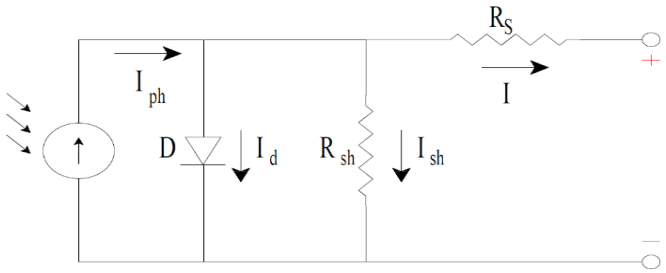
5.1. Proje Ekipmanları

GES projelerinde kullanılan ekipmanlar benzerlik gösterse de arazi ve çatı uygulamaları olarak önce ikiye ayrılır. Çatı uygulama projelerinde çatı tipine göre kullanılan ekipmanlar değişmektedir. Ancak genellikle değişen ekipman PV modülün montajının yapıldığı kısımdır. Bu bölümler, sandviç panel çatıda çatı üzerinde yatayda kullanılan uzun veya kısa alüminyum profiller olabilir. Düz beton bir çatıda ise arazi uygulamalarına benzer tipte, belirli bir açı verilmiş konstrüksiyonun ayaklarına balast yerleştirilerek veya betona montajı yapılarak da oluşturulabilir. Bazı durumlarda konstrüksiyon hiç kullanılmaz. Bu tip örnekler kendiliğinden yapışma özelliğine sahip PV modüllerin kullanıldığı ve çatıya PV modülün yapıştırılması şeklindeki uygulamalardır. Diğer ekipmanlar ise çeşitli özelliklerde olabilen invertör, kablo, pano ve içeriğindeki elemanlar, büyük güçlerdeki uygulamalarda trafo, trafo koruma hücresi, kesicili veya yük ayırıcılı hücreler, ölçü hücresi, monoblok trafo köşkü, topraklama şeridi ve kazıkları, tel çit, aydınlatma ve Kapalı Devre Televizyon (CCTV) sistemi, dağıtım merkezi, yer altı veya havai enerji nakil hattı, konstrüksiyona ait somun, cıvata vb. diğer elemanlar olarak sıralanabilir. Bu proje beton çatı üzerine uygulanan küçük güçlü bir uygulama olduğu için, kısaca PV modül, invertör, kablo, pano ve konstrüksiyondan oluşmaktadır. Ayrıca sisteme entegre elektrikli araç şarj istasyonu da mevcuttur. Elektrikli araç şarj istasyonuna ait ekipmanlar tam teçhizatlı şarj istasyonu ve kablo olarak belirtilebilir.

5.1.1. PV Modül

PV modül basitçe güneşten gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren, yarıiletkenlerden oluşan bir malzemedir. Birçok çeşidi bulunan PV modüllerin kullanım amaçları, yatırım maliyetleri ve yatırımın geri dönüş süresine göre seçimi yapılır. Ülkemizde genellikle tedarik süreci hızlı ve maliyeti düşük olan polikristal PV modül

tercih edilmektedir. Bunu monokristal ve ince film modüller izlemektedir. Yarıiletkenlerden oluşan PV modüller davranış olarak diyota benzetilmektedir. Modülleri oluşturan hücrelerin temel devre şeması Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. PV hücre devre şeması[1, 44].

$$\boldsymbol{I = I_{ph} - I_d - I_{sh}} \tag{5.1}$$

$$\boldsymbol{I = I_{ph} - I_d\left[e^{\left(\frac{(V+IR_S)q}{N_dKT_c}\right)} - 1\right] - \frac{V+IR_S}{R_{sh}}} \tag{5.2}$$

Akım, Kirchoff'un düğüm yasasını kullanarak denklem (5.1) ve (5.2) 'de olduğu gibi bulunabilir. Gerilim ise denklem (5.3) ve (5.4) kullanılarak bulunabilir[1, 44].

$$\boldsymbol{V = IR_s\frac{N_s}{N_p}\ln\left(1 + \frac{N_pI_{ph} - I}{N_pI_d}\right)} \tag{5.3}$$

$$\boldsymbol{V_{oc} = \frac{KT_c}{q}\ln\left(\frac{I_{ph}+I_d}{I_d}\right) \cong \frac{KT_c}{q}\ln\left(\frac{I_{ph}}{I_d}\right)} \tag{5.4}$$

Maksimum güç (P_{max}), akım ve voltaj değerlerinin çarpımının en yüksek olduğu noktadır. Açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) kullanılırsa, maksimum güç noktası Denklem (5.5) 'de olduğu gibi bir doldurma faktörü (FF) kullanılarak hesaplanabilir. FF, PV hücrenin kalitesinin bir ölçüsüdür. Daha yüksek iç direnci olan PV hücre daha düşük FF'ye sahip olsa da daha iyi hücre bu doğruluk seviyesine yaklaşan FF'lere sahiptir[1, 44].

$$\boldsymbol{P_{max} = I_mV_m = FF\,I_{sc}V_{oc}} \tag{5.5}$$

Sıcaklık, güneş modüllerini olumsuz yönde etkiler. Oranlar, hücrenin tipine ve teknik özelliklerinde listelenen V_{oc}, I_{sc} ve P_{max} gibi değerlere bağlı olarak standart test koşullarına göre değişmektedir. Teknik özelliklerde belirtilen sıcaklık katsayıları çeşitli sıcaklıklarda tahmini voltaj, akım ve gücü hesaplamak için kullanılır. t sıcaklığındaki bir hücrenin gerilim değerini denklem (5.6)'deki formülden, akım değerini denklem (5.7)'deki formülden, güç değerini ise denklem (5.8)'deki formülden öğrenebiliriz.

Burada t anlık hücre sıcaklığını gösterirken, diğer tüm koşullar PV modül standart test koşullarıdır[1, 44].

$$\boldsymbol{V_{oc(t)} = V_{oc} + \left(V_{oc} x \left(\frac{k_{V_{oc}}}{100} x(t - t_{st})\right)\right)} \quad (5.6)$$

$$\boldsymbol{I_{sc(t)} = I_{sc} + \left(I_{sc} x \left(\frac{k_{I_{sc}}}{100} x(t - t_{st})\right)\right)} \quad (5.7)$$

$$\boldsymbol{P_{mpp(t)} = P_{mpp} + \left(P_{mpp} x \left(\frac{k_{P_{mpp}}}{100} x(t - t_{st})\right)\right)} \quad (5.8)$$

Denklem (5.9), Fourier analizinin zaman bölgesi için matematiksel gösterimini içerir. Bu denklemde h harmonik dereceleri, A_h ve B_h f(t) fonksiyonunun harmonik katsayılarını temsil eder ve A_0 Doğru Akım (DC) bileşenini temsil eder. Üreticiler genellikle inverterlerin harmonik oranlarını %3'ün altında tutmaktadır. Bu oran bir harmonik filtre kullanımını gerektirmez.

$$\boldsymbol{f(t) = A_0 + \sum_{h=1}^{\infty}(A_h \cos h\omega t + B_h \sin h\omega t)} \quad (5.9)$$



Şekil 5.3. PV modül.

PV modüller çeşitlerine göre farklı teknik özellikte olmaktadır. Hatta aynı tip ve güçteki PV modül farklı markalarda farklı teknik verilere sahip olabilmektedir. Bu sebeple her modül kendi teknik verisiyle değerlendirilmelidir. Tablo 5.1'de bu projede kullanılan modülün teknik verileri özetlenmiştir. Şekil 5.3'de ise kullanılan PV modülün görseli bulunmaktadır.

Tablo 5.1. PV modül teknik detayları[45].

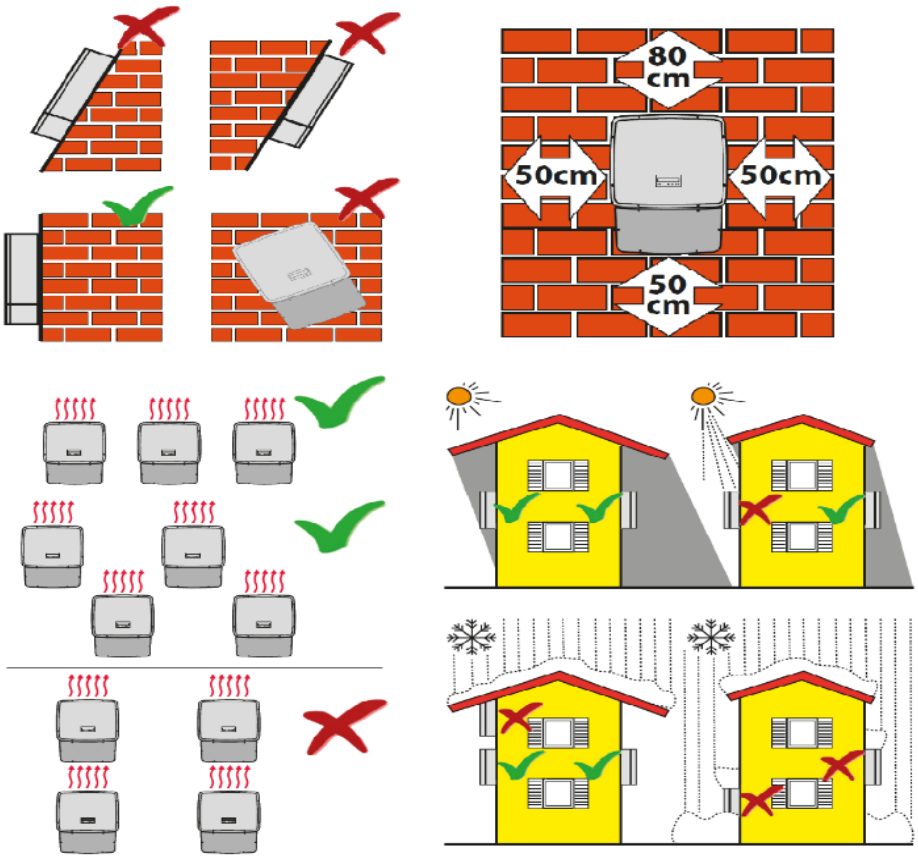
PARAMETRE	DETAY	PARAMETRE	DETAY
Nominal Güç	**320 W**	Kullanılan Hücre Boyutu	**156x156 mm**
Nominal Voltaj (V_{mpp})	**36,78 V**	Hücre Düzeni	**Seri Bağlı 72 Adet Hücre**
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	**46,53 V**	Maksimum Seri Bağlanacak Sigorta	**15 A**
Nominal Akım (I_{mpp})	**8,70 A**	Maks. Statik Yük, Ön (Kar Yükü)	**5400 Pa**
Kısa Devre Akımı	**9,22 A**	Maks. Statik Yük, Arka (Rüzgâr Yükü)	**2400 Pa**
PV Sıcaklık Katsayısı (k_{Voc})	**-0,340 %/°C**	Bağlantı Kutusu	**IP65**
PV Sıcaklık Katsayısı (k_{Vmpp})	**-0,340 %/°C**	Baypas Diyot Sayısı	**3 Adet**
PV Sıcaklık Katsayısı k($_{Isc}$)	**0,045 %/°C**	Konnektör	**MC4**
PV Sıcaklık Katsayısı (k_{Pmpp})	**-0,450 %/°C**	Ağırlık	**23 kg**
PV Modül Verimliliği	**16,49%**	Boyutlar	**1956x992x45 mm**
PV Hücre Verimliliği	**18,26%**	Kablo (Uzunluk/Kesit)	**1000 mm / 4 mm²(IEC), 12AWG(UL)**
Güç Toleransı	**0/+5 W**	Ön Kapak, Cam	**Düşük demir temperli cam, 3.2 mm**
Maksimum Sistem Gerilimi	**1000 V**	Çerçeve	**Eloksallı alüminyum alaşım**
Çalışma Sıcak Aralığı	**-40°C / 85°C**	Ekapsülant (Yapıştırıcı Ara Malzeme)	**EVA (Etilen Vinil Asetat)**

Standart Test Koşulları: 1000 W/m² güneş ışınımı, 1,5 hava kütlesi ve 25°C hücre sıcaklığı.

5.1.2. Solar İnvertör

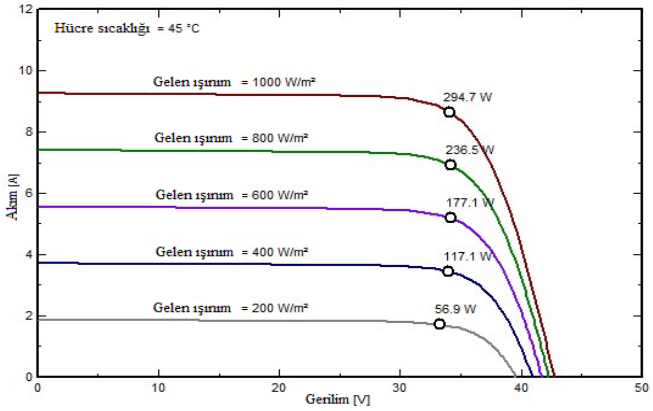
İnvertörler doğru akımı alternatif akıma çeviren devre elemanlarıdır. Yükün ve kaynağın gerekliliklerine bağlı olarak, farklı tiplerde invertörler mevcuttur. Belirli bir uygulama için uygun invertörün seçimi, yükün dalga şekli gereksinimlerine ve invertörün verimliliğine bağlıdır. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan invertörler, solar invertör olarak adlandırılmakta ve şebeke bağlantılı(on-grid), şebeke bağlantısız(off-grid) ve hibrit olmak üzere şebekeye bağlanış şekillerine göre üçe ayrılmaktadır. Ticari amaçlı kullanılanlar daha çok şebeke bağlantılı invetörlerdir. Bu invertörler PV modüllerden aldığı enerjiyi şebekenin frekansı ve gerilimine uygun olarak şebekeye iletirler. Ancak şebekenin kesilmesi invertörlerin durmasına sebep olur ve PV modüller enerji üretiyor olsa bile invertörden enerji çıkışı olmamaktadır. Off-grid invertörler ise aküden enerji almaktadır. PV modüller şarj regülatörü ile aküyü şarj ederken aynı aküden invertör enerji

alarak AC çıkış vermektedir. Şebekeden bağımsız olduğu için her alanda kullanılabilmektedirler. Ancak akü maliyetleri yüksek olduğundan toplam yatırım maliyeti yüksektir. Hibrit invertörler ise bu iki invertörün özelliğini göstermekte, hem şebeke bağlantılı hem de şebekeden bağımsız çalışabilmektedir. En büyük avantajı şebeke kesildiği zaman on-grid invertörün tersine aküden enerji alarak AC çıkış vermeye devam etmesidir. Off-grid invertör gibi tamamen aküye bağlı olmadığı için fazla akü kullanımına gerek yoktur. Ayrıca diğer invertörlere göre yazılımsal olarak daha gelişmiş olan birçok markanın ürünü hibrit invertörleri akıllı ev sistemlerine uyum sağlamaktadır. Ancak bu kadar özelliği barındırmasından dolayı hibrit invertörler pahalı invertörlerdir. İnvertörlerin seçimi oldukça önemli olup PV modülle uyumlu olmalıdırlar. Ayrıca tüm hesaplar yapılıp uygun invertör seçiminden sonra bile dikkat edilecek birçok husus vardır.



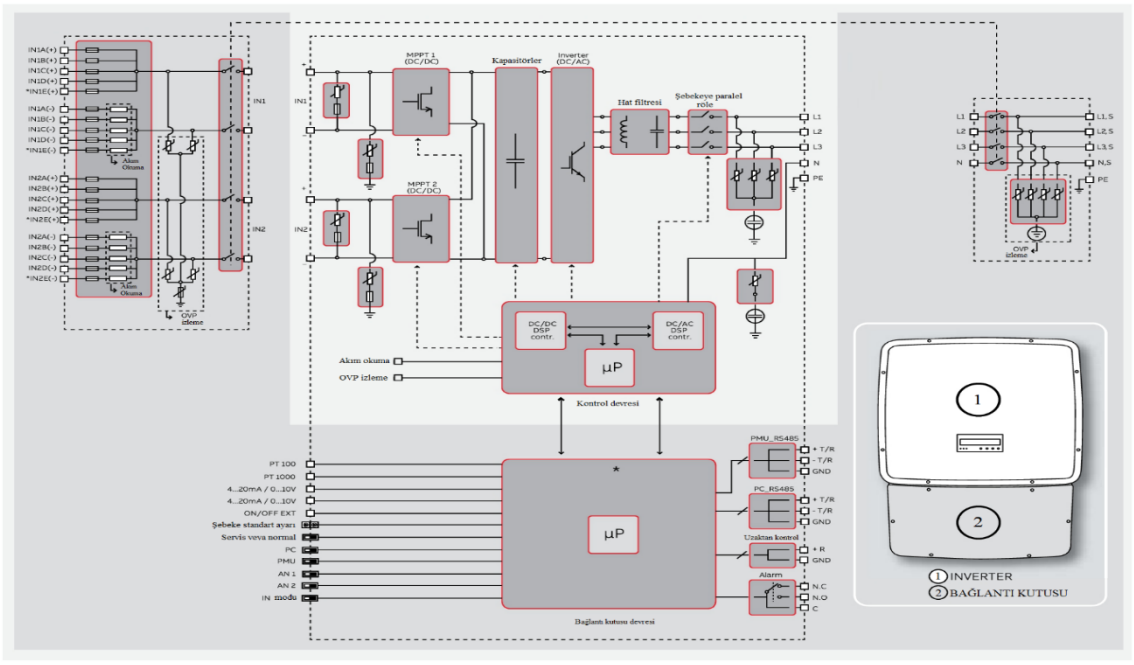
Şekil 5.4. İnvertör montaj şekilleri[46].

Özellikle invertör montajı oldukça önemli bir konudur. Birbirine benzese de her invertörün kendi kurulum ve montaj kılavuzuna uyulmalıdır. Şekil 5.4'te bir invertörün montajında dikkat edilecek bazı hususlar özetlenmiştir.



Şekil 5.5. PV modül I-V karakteristiği[45].

İnvertör PV modüllerden en iyi verimi almak için uygun miktarda akım çekerek gerilimi ayarlar. Bunu ayarlarken modülün I-V karakteristiğindeki (Şekil 5.5) en yüksek gücü elde etmeyi amaçlarlar. En yüksek gücün olduğu nokta maksimum güç noktası (MPP) olarak adlandırılır ve değişkendir. İnvertörde bunu takip eden kısma ise MPPT adı verilir. MPPT, invertöre çalışma gerilim aralığından bağımsız belirli bir gerilim aralığında çalışmaktadır. PV modül invertör uyumuna bakılırken bu dikkate alınarak hesaplar yapılmaktadır. Yapılan hesaplara göre invertöre uygun elektriksel bağlantılar yapılmalıdır. Her invertörde bir veya birkaç tane MPPT bulunmaktadır, bunların ve invertörün diğer elemanlarının iç bağlantı detayını bu projede kullanılan invertör için Şekil 5.6'de görmekteyiz.



Şekil 5.6. İnvertör iç bağlantı detayı[46].

İnvertörler çıkış güçlerine göre de sınıflandırılmaktadır. Genellikle 200 kW üzeri güçlerdeki invertörler merkezi invertör, 1 kW – 200 kW arasındaki invertörler string(dizi) invertör olarak isimlendirilmektedir. Günümüzde ise merkezi invertörler daha çok 500 kW üzerinde üretilmektedir.

Tablo 5.2. İnvertör teknik detayları[46].

PARAMETRE	DETAY	PARAMETRE	DETAY
İnvertör Maks. DC Açık Devre Gerilimi	**1000 V**	Nominal Güç (P_{acr} @cosφ=1)	**20000 W**
İnvertör Min. DC Açık Devre Gerilimi	**200 V**	Maksimum AC Güç (P_{acmax}@cosφ=1)	**22000 W**
MPPT Maks. DC Giriş Gerilimi	**800 V**	Nominal AC Çalışma Gerilimi	**400 V**
MPPT Min. DC Giriş Gerilimi	**480 V**	MPPT Min. DC Giriş Gerilimi	**320V - 480V**
Nominal DC Giriş Gerilimi	**620 V**	Maks. AC Çıkış Akımı	**33 A**
Bağımsız MPPT Sayısı	**2 Adet**	Nominal AC Çıkış Frekansı (fr)	**50 Hz / 60 Hz**
Her MPPT Maks. DC Kısa Devre Akımı	**30 A**	AC Çıkış Frekans Aralığı (f_{min} - f_{max})	**47 - 53 Hz / 57 - 63 Hz**
Her MPPT Maks. DC Giriş Akımı	**25 A**	Toplam Harmonik Distorsiyon	**< 3%**
Her MPPT Maks. DC Giriş Gücü	**12000 W**	Ac Bağlantı Tipi	**Vidalı Klemens, Kablo Rakoru PG36**
Her MPPT DC Giriş Sayısı	**4 Adet**	Maks. harici AC Aşırı Akım Koruması	**50 A**
DC Bağlantı Tipi	**MC4**	Maksimum Verimlilik (ηmax)	**98,2%**
Ters Kutup Koruması	**Var**	Ağırlıklı Verim (EURO / CEC)	**98,0%**
DC Giriş Aşırı Gerilim Koruması - Varistör	**Var, 4**	AC Çıkış Aşırı Gerilim Koruması - varistör	**Var, 4**
DC Giriş Aşırı Gerilim Koruması - Modüler Parafudr	**Var, Tip 1+2**	AC Çıkış Aşırı Gerilim Koruması - Parafudr	**Var, Tip 2**
Her Mppt İçin DC Anahtarlama	**40 A/1000 V**	Gece Enerji Tüketimi	**0,6 W**
Sigorta	**15 A/1000 V**	Çalışma Sıcak Aralığı	**-25°C / 60°C**
Boyutlar (Y x G x E)	**1061x702 x292 mm**	Güç Düşüşünün Başladığı Sıcaklık	**45°C**
Ağırlık	**70 kg**	Bağıl Nem	**0 - 100 % Yoğuşmalı**
Çevre Koruma Derecesi	**IP65**	Gürültü Seviyesi (1 m mesafede)	**50 dBA**
Soğutma Tipi	**Doğal**	Güç Azaltmadan Maks. Çalışma Yüksekliği	**2000 m**
AC Şebeke Bağlantı Tipi	**3W+PE / 3W+N+ PE**	Güvenlik ve EMC Standardı	**EN 50178, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, AS/NZS 3100, AS/NZS 60950.1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12**



Şekil 5.7. İnvertör görseli.

Dizi invertörler ise 250 kW'a kadar bulunmaktadır. Bu projede kullanılan invertörler şebeke bağlantılı dizi invertördür. Kullanılan İnvertörlerin teknik verileri Tablo 5.2'de özetlenmiştir. Görseli ise Şekil 5.7'da gösterilmiştir.

5.1.3. EV Şarj İstasyonu

Şarj istasyonları elektrikli araçlar için yakıt kaynağıdır. Günümüzde depolama teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte elektrikli araç sayısı da artmaktadır. Dolayısıyla şarj istasyonu ihtiyacı da çoğalmaktadır. Bu süreçte birçok firma belirli standartlarda şarj istasyonu üretimine geçmiş ve çeşitlilik ortaya çıkmıştır. Elektrikli araçlar ve şarj istasyonları aynı firmaya ait olmasalar bile aynı standartta olduğu sürece uyumludur. Bu projede kullanılan şarj istasyonunun teknik özellikleri Tablo 5.3'te özetlenmiştir. Şarj istasyonu dış görünüm, iç detay ve şarj soketi girişi görselleri ise Şekil 5.8'de bulunmaktadır.

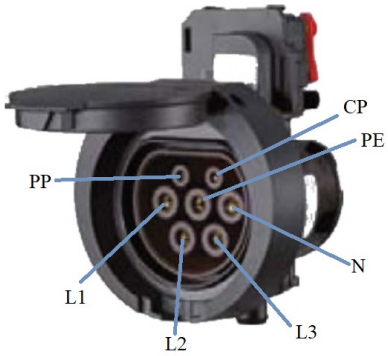
Tablo 5.3. Şarj istasyonu teknik detayları[38].

PARAMETRE	DETAY	PARAMETRE	DETAY
EV Şarj İstasyonu Gerilimi (Faz-Nötr)	**230 V**	Müşteri Arayüzü-Ödeme Sistemi	**RFID Kartlar**
Faz Sayısı	**3 Faz**	Haberleşme Sistemi	**PLC (Enerji kabloları üzerinden)**
Maks. Çıkış Akımı	**32 A**	Kontrol Ünitesi	**7" TFT LCD Dokunmatik Ekran**
Maks. Çıkış Gücü	**22000 W**	Model Tipi	**Yer Tipi Kasa (Dikili Tip)**
Çalışma Frekansı	**50 Hz**	Koruma	**Aşırı akım, kısa devre, kaçak akım**
Priz Tipi	**Tip 2**	Çevre Koruma Derecesi	**IP64**
Priz Sayısı	**2 Adet**	Uyumlu Standartlar	**IEC 62196 ve IEC 61851**
Şarj Modu	**Mod 3**		



Şekil 5.8. Şarj istasyonu.

Şarj istasyonlarının aslında çoğunda şarj işlemi yapan eleman yoktur sadece enerjiyi iletmekle yükümlüdürler. Bu istasyonlar sadece enerjiyi iletir ve araçta bulunan dahili şarj sistemi tek faz ya da üç faz gelen AC enerjiyi doğrultarak batarya şarj işlemini gerçekleştirir. Bu yapıdaki şarj istasyonları, şebekeden gelen enerjiyi sadece iletme işlevinden ibaret olmayıp, şarj hızı kontrolü, elektrikli araç ile haberleşme, güvenlik ve şarj soketi algılama gibi fonksiyonları da içerir.

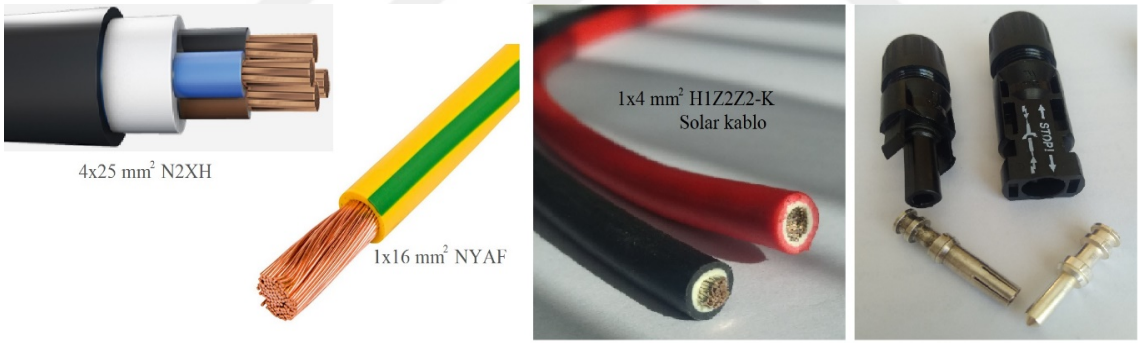


Şekil 5.9. IEC 62196 Standardına uygun ve projede kullanılan priz[38].

Farklı standartlarla belirlenmiş farklı tip şarj soketlerinde faz nötr iletkenleri haricinde Şekil 5.9'de görüldüğü gibi toprak iletkeni ve haberleşme için pilot sinyali iletkenleri de mevcuttur. Soket algılama, şarj hızı kontrolü gibi işlevler bu iletkenler üzerinden yapılır. PP, elektrikli aracın şarj güç pimlerinin fiili olarak kesilmesinden önce kontrollü bir kapanma başlatmasına izin vermek için kullanılır. CP ise araç şarj gücünü ayarlamada kullanılır.

5.1.4. Kablolar ve konnektör

Kablo neredeyse tüm sektörlerde kullanılan bir elektrik elemanıdır. Yüzlerce çeşidi bulunan kablonun projeye uygun seçilmesi en önemli konudur. Örneğin aynı özellikte bina içerisinde kullanılan kablo yalıtkanı, yangın anında düşük duman yoğunluğuna sahip ve alev ilerletme hızı çok daha düşük olan halojensiz yalıtkandır; örneğin, N2XH. Bina dışı kablonun yalıtkanında ise böyle bir ihtiyaç yoktur; örneğin, NYY. Kablolar alüminyum veya bakır iletkenli olabilir. Bakır iletkenliği alüminyumdan daha fazladır. Kablo kesiti hesaplarken iletkenlerin iletkenlik katsayılarına göre hesap yapılır; örneğin, bakır:56, aluminyum:35. GES'lerde kullanılan kablolar ise basitçe yeraltı ve havai olarak ikiye ayrılır. Yeraltı kablolar genellikle dış mekân kablolarıdır; örneğin, NYY veya NAYY. Havai kablolar yani güneşe maruz kalabilecek olanlar ise solar kablo olarak adlandırılır; örneğin, H1Z2Z2-K. Havai kablolara enerji nakil hatlarında kullanılan yalıtkansız kablolar da dahildir, ancak her GES'de bulunmazlar. Enerji nakil hattına ihtiyaç duyan GES'lerde santral dışı iletimde kullanılır.



Şekil 5.10. Kablo çeşitleri ve konnektör.

Solar kablolar güneş ışınlarına daha dayanıklı yalıtkan ile kaplanmıştır. Bu sayede güneş altında ömürleri daha uzundur fakat yine de güneş altında bırakılmamasına özen gösterilmelidir. GES'lerde kablo çeşidi bunlarla sınırlı değildir, topraklama(NYAF), orta gerilim(XLPE) ve haberleşme(CAT6) kabloları ile galvaniz şerit de kullanılmaktadır. Aydınlatma ve kamera sistemleri için de ayrı kablo çeşitleri kullanılmaktadır. Çatı üzeri GES'lerde ise kablo çeşidi biraz daha azdır. Toprak altı kablo, aydınlatma, kamera sistemi ve genellikle orta gerilim kablosuna ihtiyaç olmamaktadır. Bu projede kullanılan kablolar ve teknik özellikleri ise Tablo 5.4'te özetlenmiştir. Görselleri ise Şekil 5.10'da bulunmaktadır. Bu görselde aynı zamanda solar kabloları birbirine bağlamak için kullanılan konnektörler bulunmaktadır. Burada kullanılan konnektörler şekildeki

Multicontact MC4 konnektörlerdir. Birkaç farklı markanın farklı modelleri olsa da genel anlamda benzer özelliktedirler. Su ve nem geçirmezler, iletken kısımları gümüş alaşımlıdır. Kırılmadığı sürece bağlantı kopukluğu veya temassızlık olmaz. Piyasada en çok kullanılan model ise MC4'tür.

Tablo 5.4. Kablolar ve teknik detayları[47].

Parametre	DC Kablo	AC Kablo 1	AC Kablo 2	Topraklama Kablosu
Kablo kodu	H1Z2Z2-K	N2XH	N2XH	NYAF
Her Bir Kabloda İletken Sayısı	1 Adet	4 Adet	4 Adet	1 Adet
Kesit	4 mm²	16 mm²	25 mm²	16 mm²
Maksimum Gerilim	1800 V	600 V	600 V	450 V
Maksimum Akım	55 A	100 A	127 A	98 A
Kablo Dış Çapı	5,6 mm	20,5 mm	24,0 mm	7,2 mm
Net Ağırlık	60 kg/km	890 kg/km	1300 kg/km	167 kg/km
20 °C de iletken DC direnci	5,09 Ω/km	1,15 Ω/km	0,73 Ω/km	1,21 Ω/km
İşletme Sıcaklığı	90 °C	90 °C	90 °C	70 °C
Kısa Devre Sıcaklığı	250 °C	250 °C	250 °C	160 °C

5.1.5. Elektrik Panosu

Elektrik sistemlerinde kontrol ve güvenlik önemlidir. Elektrik tesisatlarında kontrol ve güvenliği sağlayan cihazların bir araya geldiği donanım elektrik panosu olarak adlandırılır. Elektrik panolarında elektrik sayacı, bara, şalter veya sigorta, kaçak akım rölesi, enerji analizörü, parafudr, arayüz koruma rölesi, aşırı gerilim uyarı ışığı, acil stop butonu, gerekli durumlarda akım trafosu gibi elektrik malzemeleri kullanılmaktadır.



Şekil 5.11. Çatı pano.

Tablo 5.5. Pano teknik detayları.

Bina Pano (Elektrikli araç ve GES ile ilgili kısımlar)

Parametre	*Açıklama*	*Miktar*
Termik Manyetik Şalter(TMŞ)	**4x40 A, 50 kA**	**2 Adet**
Termik Manyetik Şalter	**4x200 A, 50 kA**	**1 Adet**
Motorlu TMŞ	**4x2500 A, 50 kA**	**1 Adet**
Bara	**20 x 3 mm²**	**1 Adet**
Bara	**2 x 80 x 10 mm²**	**1 Adet**
Parafudr	**Sınıf 1-2, 230/400 V 50 kA**	**1 Adet**
Kaçak Akım Rölesi	**40 A, 230/400 V 300 mA**	**2 Adet**
Kaçak Akım Rölesi	**25 A, 230/400 V 300 mA**	**1 Adet**
Çift Yönlü Sayaç	**X/5 çift yönlü**	**1 Adet**
Tek Yönlü Sayaç	**3 Fazlı, 4 Telli, 4 Tarifeli, Demantmetreli, Aktif Elektronik Elektrik Sayacı**	**2 Adet**
Enerji Analizörü		**1 Adet**
Şebeke İzleme Rölesi	**ABB CM UFD M31**	**1 Adet**
Akım Trafosu	**3x2500/5, 15 VA, Sn:0,5**	**1 Adet**
Akım Trafosu	**3x2500/5, 15 VA, Sn:1**	**1 Adet**
Acil Stop Butonu		**2 Adet**

Çatı Pano

Parametre	*Açıklama*	*Miktar*
Termik Manyetik Şalter	**4x40 A, 36 kA**	**1 Adet**
Tek Yönlü Sayaç	**3 Fazlı, 4 Telli, 4 Tarifeli, Demantmetreli, Aktif Elektronik Elektrik Sayacı**	**1 Adet**
Kaçak Akım Rölesi	**40 A, 230/400 V 300 mA**	**1 Adet**
Acil Stop Butonu		**1 Adet**

Elektrik panoları genellikle özel üretim sürecine girer ve istenilen ölçülere göre düzenlenip üretilir. Elektrik panosu fiyatları içeriğindeki elektrik malzemeleri haricinde pano boyutlarına, boya kalitesine, saç kalitesine ve kalınlığına göre değişim göstermektedir.

Bu projede kullanılan panonun teknik verileri Tablo 5.5'te özetlenmiştir. Şekil 5.11'da çatı pano görseli bulunmaktadır.

5.1.6. Konstrüksiyon

PV modülleri tutan konstrüksiyon GES'lerde önemli elemanlardan biridir. Uzun yıllar deprem, rüzgâr ve kar yükü gibi etkilere maruz kalınsa da dayanıklılığının bozulmaması gerekir. Bunlara ek olarak nem, yağmur gibi etkilerden dolayı kullanılan malzemenin küflenme gibi olumsuz etkilere karşı dayanıklı olması gerekir. Zemin koşulları da önemli bir etkendir. Zemin etüt raporları zemin hakkında bilgi vermekte olup arazi GES'lerde konstrüksiyon seçiminde dikkate alınır. Tüm bunlar hesaba katılarak uygun statik projelendirilme yapılıp uygun malzeme seçilmektedir.

Bu projede GES kurulan bina çok katlı olup, taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveden oluşmuştur. Çözümleme; 1. derece deprem bölgesi, zemin sınıfı Z2, zemin emniyet gerilmesi 80 t/m^2, yatak katsayısı 10500 t/m^3, bina önem katsayısı 1, yapı davranış katsayısı da 6 olarak alınmıştır. Döşeme tipi mantar döşemedir. Döşeme üzerine PV modül ve alüminyum konstrüksiyon kurulumu yapılacaktır. PV modül ağırlığı 0.00489 t/m^2, alüminyum konstrüksiyon ağırlığı (bağlantı aparatları dahil) yaklaşık 0.00195 t/m^2, beton pabuç temel ağırlığı 0.0431 t/m^2'dir. Bu ağırlıklar dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda uyumlu olduğu görülen alüminyum tipi 6063-T6'dır. Tablo 5.6'da 6063 alüminyumların teknik özellikleri özetlenmiştir.

Tablo 5.6. Konstrüksiyon teknik detayları[48].

Kimyasal Bileşimi

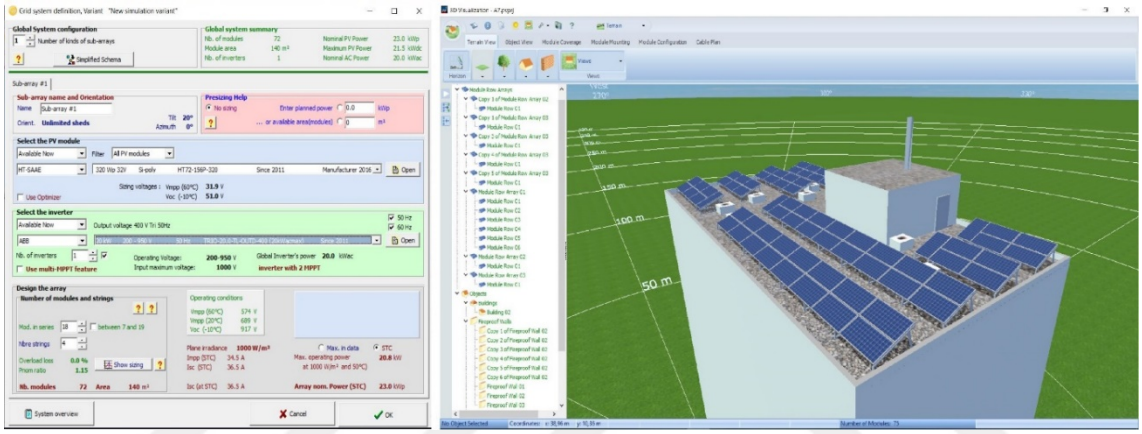
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi	Diğer
0,35	**0,2-0,6**	**0,1**	**0,1**	**0,45-0,9**	**0,1**	**0,1**	**0,15**	**0,15**

Mekanik Özellikleri

Temper	Akma Mukavemeti (Mpa) min-max	Çekme Mukavemeti (Mpa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (brinel) min-max
0	**50**	**100**	**26**	**25**
T1	**90**	**150**	**24**	**45**
T4	**90**	**160**	**21**	**50**
T5	**110-175**	**150-215**	**12**	**60**
T6	**170-210**	**205-245**	**12**	**75**
T8	**240**	**260**	**9**	**80**

5.1.7. Yazılım/Program

Projelendirme yapılırken çeşitli yazılımlardan destek alınarak bilgisayar destekli çizimler, hesaplamalar ve tahminler yapılmıştır. Bu hesaplamalardan akım taşıma ve gerilim düşümü yönünden AC ve DC kablo kesit hesabı, şalter seçim hesabı, invertör-PV modül uyumluluk hesapları, elektrikli araç şarj istasyonu uyumluluğu, PV modül farklı sıcaklıklara göre akım, gerilim, güç hesapları, topraklama hesabı gibi hesaplar ile Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) proje onayı için gerekli olan tüm açıklama ve detay bilgiler Excel programı kullanılarak yapılmıştır.

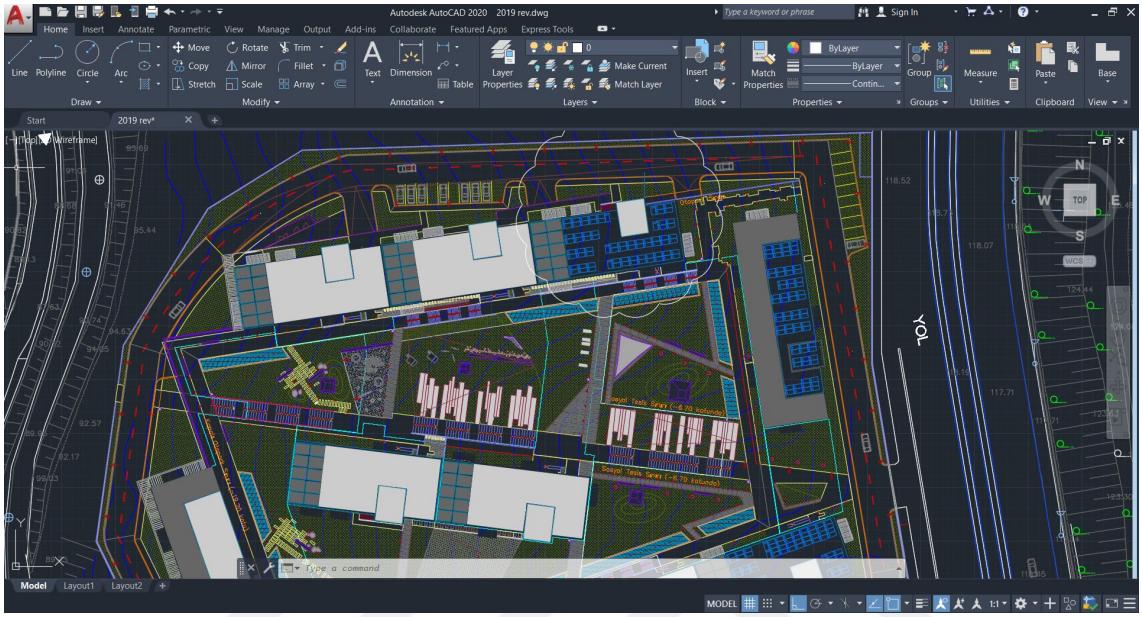


Şekil 5.12. PVSyst ve PV*SOL programları.

Şekil 5.12'de arayüzleri görünen PVSyst ve PV*SOL programları kullanılarak Excel'de yapılan invertör-PV modül uyumluluk testi, proje koordinatlarında geçmiş yıllara ait ışınım ve sıcaklık verileri kullanılarak tahmini elektrik üretimi miktarı, üretilen elektrik ile ne kadar CO2 salınımının önüne geçildiği bilgileri, finansal analiz gibi hesaplamalar yapılmıştır. Tahmini elektrik üretimi hesaplanması sırasında tüm detaylar hesaba katılmış olup bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir;

- 3 boyutlu proje tasarımı,
- PV modül kirlenme oranı,
- Tracker sistem elektrik tüketimi,
- İnvertör iç tüketimi,
- İnvertörün aynı MPPT'sine giren PV modül dizileri arasındaki gerilim farklarından kaynaklanan kayıplar,
- Kablolar üzerindeki güç kaybı,
- Olası şebeke kesintileri,

- PV modüllere gölge yapan etkenler,
- Arka arkaya olan PV modüllerin birbirine olan gölgeleri,
- 10 yıllık üretim hesabında PV modüllerin verim kaybı(standart koşullarda 25 yılda %15 verim kaybı yaşanmaktadır) gibi detaylardır.



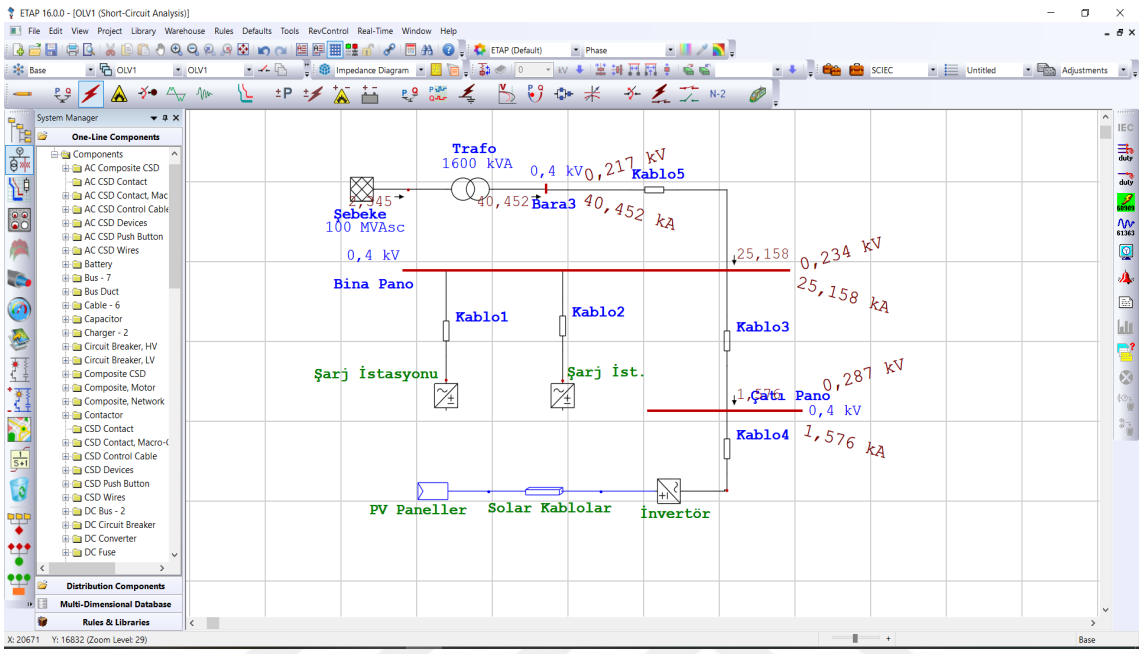
Şekil 5.13. AutoCAD arayüzü.

Şekil 5.13'de görülen AutoCAD çizim programı kullanılarak projenin 2 boyutlu çizimi yapılmıştır. Bu çizimde ölçekli mimari projenin çatı projesi kısmı kullanılmış, görsel açıdan daha çok bilgi vermesi için tüm binaların bulunduğu site planı da eklenmiştir. Mimari projede bulunmayan ancak PV modüllere gölge etkisi yapabilecek veya kurulmasına engel olabilecek tüm detaylar yerinde ölçümler alınarak ölçekli şekilde eklenmiştir. Yapılan çizimlerde;

- PV modüllerin yerleşim planı,
- Kablo güzergahları ve bağlantı şekilleri,
- PV modül açıları, invertör bağlantıları,
- Elektrikli araç şarj istasyonu,
- Elektrik panoları bağlantıları gösterilmiştir.

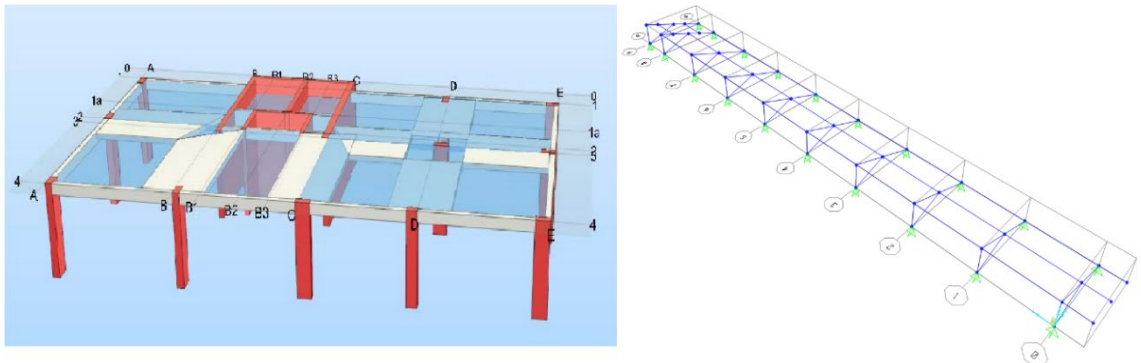
Çizimler 1:1000 ölçekte yapılmış, TEDAŞ onayı için çıktı alındığında A0 kâğıda 1:200 ölçekte çıktı alınmıştır. Autocad ile aynı zamanda tüm elektrik bağlantılarının ve ekipmanlarının teknik detaylarıyla birlikte gösterildiği tek hat şeması da hazırlanmıştır. Bu şema hazırlanırken mevcut bina tek hat şeması da dikkate alınmış ve ona uygun

eklemeler ile projelendirilme yapılmıştır. Genel yerleşim üzerinden galvaniz şeritlerin güzergahı ile bağlantı noktaları ve diğer topraklama detayları çizimi de hazırlanmış TEDAŞ onayı için topraklama hesabı eki olarak 1:200 ölçekte sunulmuştur.



Şekil 5.14. ETAP arayüzü.

Şekil 5.14'te görülen ETAP programı ile AutoCAD üzerinde hazırlanan tek hat şemasıyla birebir tek hat şeması hazırlanmıştır. Burada bulunan elektrik malzemelerinin teknik verileri program tarafından sağlanmaktadır. Teknik verisi eksik olanlar (özellikle invertör, PV modül ve şarj istasyonu) ise elle tüm detayları girilerek tek tek sisteme tanıtılmıştır. Tüm veriler hazırlandıktan sonra program çalıştırılarak 3-faz, faz-toprak, faz-faz, ve faz-faz-toprak arıza akımları IEC 60909 standardına göre hesaplanmıştır ve rapor çıktısı alınmıştır. Buradaki değerlere göre elektrik ekipmanları seçilmiştir.



Şekil 5.15. Probina ve SAP2000 ile hazırlanmış modeller.

Şekil 5.15'te gösterilen Probina kullanılarak hazırlanmış bina modeli ile SAP2000 programı kullanılarak hazırlanmış olup PV modül konstrüksiyon modelidir. Burada öncelikle binanın kendi statik dayanımı analiz edilmiş, eklenecek PV modül ve diğer ekipmanların yüklerinin binaya olan etkisi ölçülmüştür. Daha sonra PV modül konstrüksiyon kısmında PV modül yükü, deprem, kar yükü ve rüzgâr yüküne göre analizler yapılarak kullanılacak ekipmanların kesitleri belirlenmiştir.

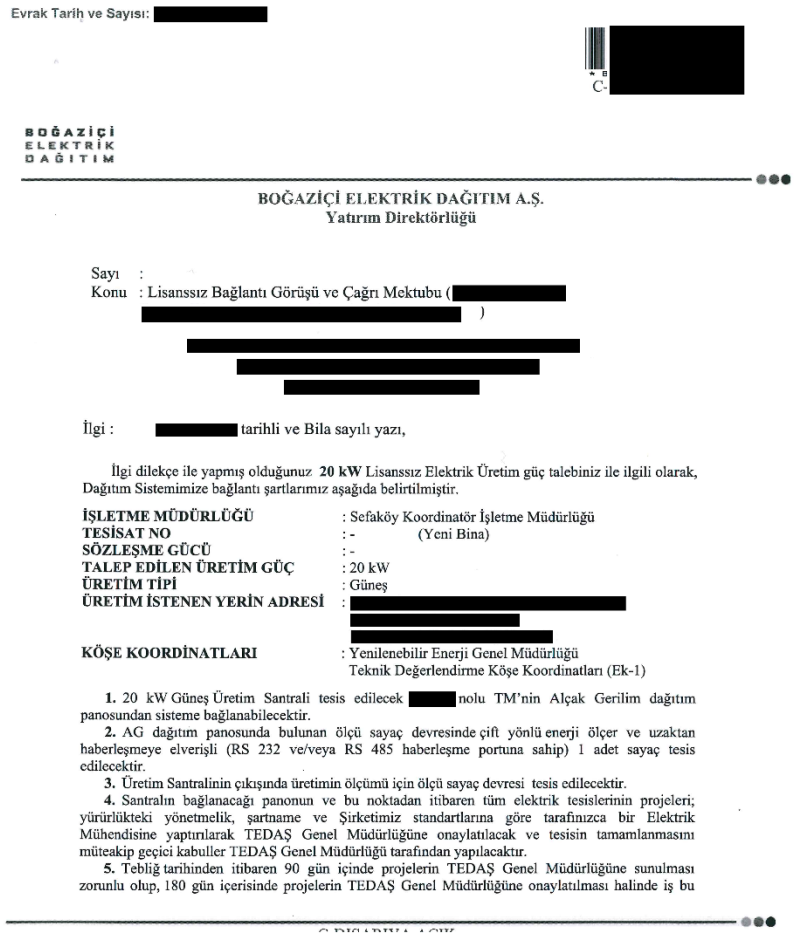
5.2. Proje Aşamaları

Şebeke bağlantılı GES'lerde ilgili kurumlara başvuru yapılıp uygun görülmesi halinde ilgili yere GES kurulması izni alınır. İzin aldıktan sonra projelendirilme, proje onayı ve kurulum işlemleri gerçekleştirilir. Kurulum işlemi tamamlandıktan sonra ilgili kurum veya kuruluş tarafından kabul işlemi yapılır. Bu sürecin sonunda şebekeye bağlanma izni verilmiş olup santral elektrik üretmeye ve satışını yapmaya başlamaktadır.

5.2.1. TEDAŞ/Dağıtım Şirketi Gerekli İzinlerin Alınması

Şebeke bağlantılı GES ve diğer yenilenebilir enerji projelerinde gerekli izinler alınmadan yasal olarak herhangi bir işlem yapılamaz. Çatı GES'lerde alınması gereken izin süreci arazi GES'lere göre daha azdır. Öncelikle Enerji Piyasası Denetleme Kurumu (EPDK) tarafından yayınlanan Lisanssız Üretim Yönetmeliği (LUY) Madde 7/ Fıkra 1'de yer alan belgeler ile ilgili şebeke işletmecisine başvurulur. Tüm başvurular toplu halde ilgili şebeke işletmecisi tarafından takip eden ayın ilk yirmi günü içinde değerlendirilir. Belgelerinde eksiklik olanlara eksikliklerin on iş günü içinde tamamlanması için ilgili şebeke işletmecisi tarafından bildirimde bulunulur. Belgeleri eksik olmayan veya eksiğini on iş günü içerisinde tamamlayanların LUY Madde 8 gereğince elde edilen değerlendirme neticesine istinaden tesis bağlantı noktası başvurusu uygunluğu kontrol edilir. Dağıtım şirketi internet sitesinde değerlendirme sonucunu ve bağlantı noktası uygun bulunmayan başvurular için varsa alternatif bağlantı önerisini ilan eder (bir ay süreyle). On gün içinde Yenilenebilir Genel Enerji Müdürlüğü'ne (YEGM) teknik değerlendirme için gönderilir. YEGM otuz gün içerisinde sonuçlandırır ve dağıtım şirketine bildirir. Dağıtım şirketi tarafından YEGM raporu olumlu sonuçlananlara "Bağlantı Anlaşmasına Çağrı Mektubu" verilir. Gerekli izinleri almak için 180 günlük süre tanınır. Bağlantı anlaşması yapmak için ilgili teknik mevzuat çerçevesinde alınması

gereken proje onayı (tüm başvurular) ve TEDAŞ proje dosya içeriği ile birlikte dağıtım şirketine başvuruda bulunulur. Belgelerde eksiklik yoksa otuz gün içerisinde bağlantı anlaşması imzalanır ve inşaat süreci başlar. İlgili yönetmelik gereği bağlantı anlaşması tarihinden itibaren 2 yıl içerisinde geçici kabul işlemlerinin tamamlanması gereklidir. Geçici kabul tamamlandıktan sonra 1 ay içerisinde sistem kullanım anlaşması yapılır ve tesis resmi olarak devreye alınmış olur. Burada belirtilen süreler GES gücüne göre değişiklik göstermektedir. Çatı projeleri genellikle küçük güçte(<100kW) olduğu için süreç bu projelerde daha kısa olmaktadır. Ayrıca sürekli olarak yönetmelikte değişiklik yapıldığı için yönetmeliği yakından takip ederek güncel süreci ve koşulları bilmek gereklidir. Bugün geçerli olan yönetmeliğe göre çatılarda 10 kW ve altı projeler için izinler çok daha kolay alınmaktadır. Sözleşme gücünü geçmeyecek şekilde başvuru yapıldığında trafo kapasite şartı aranmadan izin verilmektedir. 10 kW ve üstü çatı GES için kapasiteler belirli kriterlerde dikkate alınarak yine sözleşme gücünü geçmeyecek şekilde izin verilmektedir.



Evrak Tarih ve Sayısı: [redacted]

[redacted]

BOĞAZİÇİ ELEKTRİK DAĞITIM

BOĞAZİÇİ ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş.
Yatırım Direktörlüğü

Sayı :
Konu : Lisanssız Bağlantı Görüşü ve Çağrı Mektubu ([redacted])

İlgi : [redacted] tarihli ve Bila sayılı yazı,

İlgi dilekçe ile yapmış olduğunuz **20 kW** Lisanssız Elektrik Üretim güç talebiniz ile ilgili olarak, Dağıtım Sistemimize bağlantı şartlarımız aşağıda belirtilmiştir.

İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ	: Sefaköy Koordinatör İşletme Müdürlüğü
TESİSAT NO	: - (Yeni Bina)
SÖZLEŞME GÜCÜ	: -
TALEP EDİLEN ÜRETİM GÜÇ	: 20 kW
ÜRETİM TİPİ	: Güneş
ÜRETİM İSTENEN YERİN ADRESİ	: [redacted]
KÖŞE KOORDİNATLARI	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Teknik Değerlendirme Köşe Koordinatları (Ek-1)

1. 20 kW Güneş Üretim Santrali tesis edilecek [redacted] nolu TM'nin Alçak Gerilim dağıtım panosundan sisteme bağlanabilecektir.
2. AG dağıtım panosunda bulunan ölçü sayaç devresinde çift yönlü enerji ölçer ve uzaktan haberleşmeye elverişli (RS 232 ve/veya RS 485 haberleşme portuna sahip) 1 adet sayaç tesis edilecektir.
3. Üretim Santralinin çıkışında üretimin ölçümü için ölçü sayaç devresi tesis edilecektir.
4. Santralın bağlanacağı panonun ve bu noktadan itibaren tüm elektrik tesislerinin projeleri; yürürlükteki yönetmelik, şartname ve Şirketimiz standartlarına göre tarafınızca bir Elektrik Mühendisine yaptırılarak TEDAŞ Genel Müdürlüğüne onaylatılacak ve tesisin tamamlanmasını müteakip geçici kabuller TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından yapılacaktır.
5. Tebliğ tarihinden itibaren 90 gün içinde projelerin TEDAŞ Genel Müdürlüğüne sunulması zorunlu olup, 180 gün içerisinde projelerin TEDAŞ Genel Müdürlüğüne onaylatılması halinde iş bu

Şekil 5.16. Bağlantı görüşü ve çağrı mektubu.

Bu projede 3 ayrı çatı için 3 ayrı başvuru ilgili ekler(teknik değerlendirme raporu, başvuru dilekçesi, başvuru formu, tapu, bina elektriği için alınmış bağlantı izinleri, vb.) ile birlikte Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye yapılmış ve 6-7 hafta içerisinde her proje için 1, toplam 3 adet Şekil 5.16'de ilk sayfası bulunan GES bağlantı izni(bağlantı görüşü ve çağrı mektubu) alınmıştır. Bu çağrı mektubunda belirtilen şartlara göre GES projesi hazırlanmaya başlanmıştır.

5.2.2. PV Modül-İnvertör Uyum Hesabı

Projede ilk yapılması gereken invertör ve PV panel seçimidir. Gerilim ve akım çıkışı bakımından yüzlerce farklı PV modül bulunmaktadır. Kullanılacak PV modüle kara verirken hem kendi özelliklerine bakılmalı (ince-film, kristal yapı vb.) hem de invertör ile olan uyumuna bakılmalıdır. Genellikle invertörler her PV modüle uygun olacak şekilde tasarlanır ancak verimli bir sistem için PV modül-invertör uyumluluk hesaplarının yapılması gerekir. Bu hesaplardan biri PV modül/PV modül dizilerinin çıkış geriliminin invertör giriş gerilim aralığına uyup uymadığının kontrolüdür. İkincisi yine aynı karşılaştırmanın akım üzerinden yapılmasıdır. Ancak bunu yaparken kurulacak GES'in bölge şartları göz önüne alınarak oluşabilecek en düşük ve en yüksek hücre sıcaklıkları üzerinden en düşük ve en yüksek gerilim değerleri bulunarak hesaplanır.

$$V_{oc(min)} = V_{oc(70)} = 46.53 + 46.53\left(\frac{-0.34}{100}(70 - 25)\right) = 39.41\ \text{V} \quad (5.10)$$

$$I_{sc(max)} = I_{sc(70)} = 9.22 + 9.22\left(\frac{0.045}{100}(70 - 25)\right) = 9.4067\ \text{A} \quad (5.11)$$

$$V_{oc(max)} = V_{oc(-10)} = 46.53 + 46.53\left(\frac{-0.34}{100}(-10 - 25)\right) = 52.067\ \text{V} \quad (5.12)$$

Bir hücrenin en düşük gerilim değerini denklem (5.10)'deki formülden, en yüksek akım değerini denklem (5.11)'deki formülden, en yüksek gerilim değerini ise denklem (5.12)'deki formülden öğrenebiliriz. Hesaplamalarda kullanılan hücre sıcaklık değerleri Türkiye için TEDAŞ tarafından belirlenmiş olup aksi belirtilmedikçe -10°C ile 70°C'dir. Çok nadiren bazı bölgelerdeki TEDAŞ yetkilileri bu değerleri -20°C ile 70°C olarak da istemektedir. PV modül çalışma sıcaklık aralıkları ise genellikle -40°C ile 85°C'dir. TEDAŞ'ın belirtmiş olduğu standartlara göre projede kullanılan PV modül-invertör uyumluluk hesaplarının özetini Tablo 5.7'de görmekteyiz.

Tablo 5.7. PV modül-invertör uyumluluk hesabı

	PV Modül V_{oc} / V_{mpp}	Dizideki PV Modül Sayısı	Dizi V_{oc} / V_{mpp}	İnvertör V_{oc}/V_{mpp}
Max. Gerilim ($V_{oc(max)}$)	52,067 V	19	**989,27 V**	<1000 V
Min. Gerilim ($V_{oc(min)}$)	39,411 V	18	**709,40 V**	> 200 V
Max. MPP Gerilim ($V_{mpp(max)}$)	41,157 V	19	**781,98 V**	< 800 V
Min. MPP Gerilim ($V_{mpp(min)}$)	31,153 V	18	**560,75 V**	> 480 V
İnvertördeki MPPT'ye bağlı dizilerin toplam akımı (I_{max}) = **18,8134 A**				
*(Her bir MPPT'ye 2 dizi bağlıdır.)				
İnvertör MPPT max giriş akımı = 25 **A**			**18,81 A**	< 25 A

PV modül-invertör uyumluluğunu hesaplarken daha verimli bir sistem için PV modül dizilerinin çıkış gerilimini invertör nominal giriş gerilimine yakın olacak şekilde ayarlamak gereklidir. Seri bağlı PV modül sayısını değiştirerek veya farklı marka/model PV modül seçerek uygun gerilim değerine ulaşılır.

5.2.3. İnşaat Projesi ve Konstrüksiyon

İnşaat projelendirilmesi yapılırken izlenen adımlar sırasıyla şu şekildedir;

- Mevcut bina değerlendirme,
- Mevcut durum hesabı raporu,
- Döşeme donatı kontrolü,
- Mevcut döşeme yük analizi,
- GES proje tasarım kriterleri,
- Model tanımı,
- Modelin bilgisayar ortamında tanımı,
- Model aks tanımlama,
- Kullanılan profiller,
- Mesnet tanımı,
- Eleman serbestlik bilgileri,
- Yük tanımları,
- Kar yükü,
- Rüzgâr yükü,
- Yük durumları ve yükleme kombinasyonları,

- Alüminyum eleman gerilme sonuçları,
- Arka kolon tahkiki,
- Ön kolon tahkiki,
- Kiriş tahkiki,
- Aşık tahkiki,
- Yapının zati yükü,
- Panel yükü,
- Payanda tahkiki,
- Taşıyıcı sistem sehim,
- Ötelenme ve mesnet tahkiki,
- Birleşim hesapları,
- Devrilme tahkiki,
- Ankraj hesabıdır.

Bu adımlarla yapılan hesaplarda uygun görülen taşıyıcı yapı PV modülleri taşımada rahatlıkla kullanılmaktadır. Bu hesaplar belirli formüller ve standartlar eşliğinde, genellikle SAP2000 isimli bilgisayar yazılımı üzerinden hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplar ve projeler GES projelerini inceleyen üniversite veya TEDAŞ tarafından onaylanmaktadır. Bu projede onaylar Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesine yaptırılmıştır.

5.2.3.1. Sabit Sistemli Konstrüksiyon

Konstrüksiyonda kullanılan malzeme alüminyum 6063-T6'dır. Kesit seçim hesabı SAP2000 sonuçları ile birlikte değerlendirilerek yapılmıştır.

Tablo 5.8. Asal gerilme tahkiki SAP2000 sonuçları.

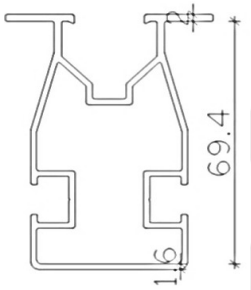
Eleman kuvvetleri ve yapısı

Frame	**Station**	**OutputCase**	**p**	**v2**	**v3**	**M2**	**M3**
Text	cm	Text	kg	kg	kg	kg-cm	kg-cm
KİRİS3	107.9	G+GP+Q+W(+x)	-13.76	327.56	1.08	11.64	4941.48
KİRİS3	***159.448***	***G+GP+Q+W(+x)***	-14.01	328.24	1.08	-43.94	***6859.25***
KİRİS3	159.448	G+GP+Q+W(+x)	68.3	***-351.21***	0.93	36.78	5965.45
KİRİS3	165.953	G+GP+Q+W(+x)	68.27	-351.13	0.93	30.76	5965.45

Eğilme gerilmesi denklem 5.13'deki formülden hesaplanır. W_x = 8,2083 cm^3, $\sigma_{çem}$=1032 kg/cm^2 olarak seçilen alüminyuma ait değerlerdir. M_{max} Tablo 5.8'den alınır. Bu denklem yapılan hesaplamalardan sadece bir tanesi olup bina statik raporu da dahil olmak üzere tüm detayları ve görselleriyle üniversiteye onaya sunulmuş rapor toplam 150 sayfadan oluşmaktadır.

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} \leq \sigma_{çem} \tag{5.13}$$

$$\sigma = \frac{6859,25}{8,2083} = 835.65\, kg/cm^2 \leq 1032\, kg/cm^2 \tag{5.14}$$



Şekil 5.17. Alüminyum profil yan kesiti.

Eğilme gerilmesine göre denklem 5.14'ten görüldüğü üzere kesit yeterlidir. Kesme gerilmesi ise denklem 5.15'ten hesaplanır. Şekil 5.17'de alüminyum profilin yan görünüşü ölçüleri ile birlikte gösterilmektedir. Buradan; d=6.94 cm, t_w=0,16 cm ve V_{max}=351.21 kg'dır. Denklem 5.16'ya göre kesit uygundur.

$$\tau_0 = \frac{V_{max}}{d.t_w} \leq \tau_{em}\left(\frac{\sigma_{çem}}{\sqrt{3}}\right) \tag{5.15}$$

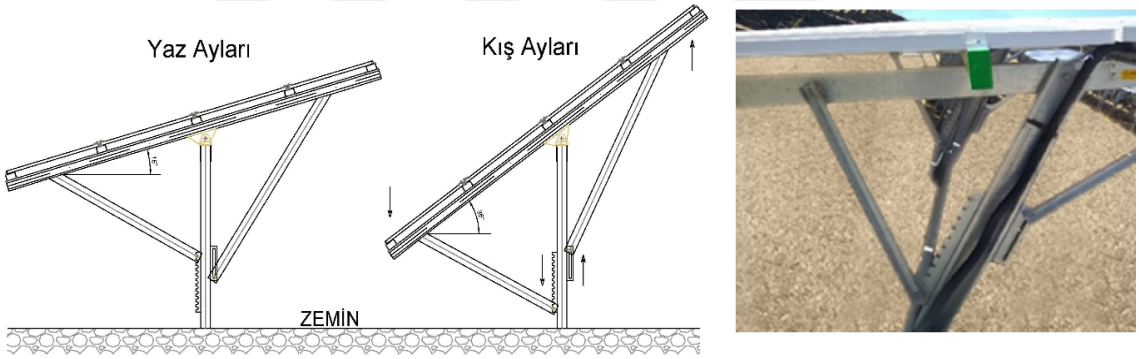
$$\tau_0 = \frac{351,21}{6,94\ x\ 0,16} = 316,29\, kg/cm^2 \leq 596\, kg/cm^2 \tag{5.16}$$

İnşaat kısmını ilgilendiren kesiti ve tipi belirlenen alüminyum konstrüksiyonun elektrik kısmını ilgilendiren açısı ise PVsyst ve PV*SOL programları kullanılarak en verimli olanı seçilir. Açı konstrüksiyon inşaat projelendirmesi yapılmadan belirlenir. İnşaat projesinde rüzgâr yükü ve diğer yükler bu açıya göre değerlendirilmektedir. Türkiye'de sabit konstrüksiyonlu GES'lerin çoğu 25° açı ile yapılmıştır. Çatılarda rüzgâr çok ise konstrüksiyon maliyetini düşürmek için 10°-15° gibi değerler de çok kullanılmıştır. Elektrik üretimi açısından bakarsak en güzel yöntemlerden biri PVsyst ve PV*SOL gibi programlara tahmini olarak 20, 21, 22… 30 gibi her açıyı analiz ettirip en yüksek verimi aldığımız açının belirlenmesidir. Birkaç açı analizi sonrası verim düşmeye veya

yükselmeye başladığında yorumlanarak optimum açıyı her değeri denemeden bulabiliriz. Bu bulunan açı inşaat proje kısmında da değerlendirip ortak bir optimum sonuç bulunur. Bu projede açı 20º olarak seçilmiştir.

5.2.3.2. Tek Eksenli Manuel Takip Sistemi

Tek eksenli manuel takip sisteminde takip kuzey-güney yönlü olmaktadır. Bunu sağlamak için insan gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Tek ayaklı konstrüksiyona sahip olan sabit sistemle oldukça benzer yapıda olup açısı manuel olarak değiştirilmektedir. Konstrüksiyonun kolonlarında belirli aralıklarla sabitleme noktaları oluşturularak PV modüllerin farklı açılarda sabitlenmesi sağlanmış olur. Bu işlemi yapabilmek için konstrüksiyon ayağında her bir kademede 2 derece olacak şekilde vida yerleri oluşturulur. Şekil 5.18'de görüldüğü üzere vida yerlerinde yapılan aşağı ve yukarı yönlü hareketler PV modüllerin açısını değiştirmektedir.



Şekil 5.18. Tek eksenli manuel takip sistemi konstrüksiyon.

Proje 41º kuzey enlemlerinde olduğu için PVsyst ve PV*SOL yazılımı sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde yazın en verimli açının 16, kışın en verimli açının ise 36 olduğu görülmüştür. Ancak çok rüzgârlı bölgelerde 36 derece yüksek bir rüzgâr yükü getireceği için yeniden değerlendirilmelidir. Ayrıca arka arkaya bulunan panelin panele yaptığı kısmi gölgeler de bu programlar tarafından hesaplandığı için arka arkaya iki panel arası mesafe değiştiğinde en verimli açı değişebilmektedir. Çatı üzeri uygulamalarda rüzgâr yükü çok dikkat edilmesi gereken bir konudur. Yükseklik arttıkça rüzgâr yükünün artacağı hesaba katılmalıdır. Bu proje için 36 derece rüzgâr yükü açısından uygun görülmüştür.

5.2.3.3. Tek Eksenli Otomatik Takip Sistemi

Bu projede tek eksenli otomatik takip sistemlerinde doğu-batı eksenli takip yapılmaktadır. Takip sensörsüz olarak enlem ve boylam bilgilerine göre güneşin konumunu anlık hesap eden yazılımsal bir sistemle yapılmaktadır. Yapılan tasarımda PV modüller yere paralel olacak şekilde yerleştirilmiş olup takip sistemi ile doğu ve batıya 55'er derecelik dönme kabiliyetine sahiptir. Takip sistemi hızı dakikada 18 derecedir. Çalışma sıcaklığı -20 °C ile +50 °C aralığıdır. Dayanabileceği maksimum rüzgâr hızı ise 110 km/s'tir. Yıllık toplam enerji tüketimi rüzgâr ve kar yüküne bağlı olarak artmakla birlikte 15 kWh ila 20 kWh aralığındadır.



Şekil 5.19. Tek eksenli takip sistemi.

Bu projede elektrikli motor ile takip sağlanmaktadır(Şekil 5.19). Bazı uygulamalarda, düşük gerilimli DC motorların dönme hareketini doğrusal itme/çekme hareketine dönüştürebilen, elektrikli lineer aktüatörler tercih edilmektedir. Bu aktüatörler, hassas ve kusursuz bir şekilde kontrol edilebilen basit, güvenli ve enerji tüketimi düşük cihazlardır. Ürünlerin gücü marka ve modele göre değişmekle birlikte, 15.000 N'a kadar itiş gücü oluşturabilen örnekler mevcuttur.

5.2.4. Kablo Kesit Hesapları

Kablo kesit hesapları kablonun akım taşıma kapasitesi ve gerilim düşümü hesapları üzerinden yapılır. Gerilim düşümü hesabında kablonun direnci önemlidir. Direnç kesit ile ters, uzunluk ile doğru orantılıdır. Akım taşıma hesabında ise kablonun fabrika verilerindeki taşıyabileceği akım verisi kullanılır. Ancak bu veri standart koşullar için verilmiştir. Farklı sıcaklık ve şartlar altında kablonun taşıyabileceği akım değişiklik göstermektedir. Yan yana giden kablolarda kablolar arası mesafe ve toplam yan yana kablo adedi kablonun taşıyabileceği akım miktarını belirlemede kullanılır. Bu konu

oldukça önemlidir. Bazı hesaplamalarda buna dikkat edilmediği görülmüştür. Bu durum ileride önemli sorunlara yol açmaktadır.

Tablo 5.9. Döşeme şekline bağlı düzeltme katsayıları[47, 49].

Döşeme Şekli	Kablo Sayısı														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Bir kanal veya boru içerisinde, birbirine temas etmiş birden fazla kablo	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38
Düz bir zemin üzerine yatırılmış, tek sıra kablolar	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Düz bir zemin üzerine yatırılmış, aralarında en az kablo çapı kadar mesafe bulunan tek sıra kablolar	1	0,94	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Tablo 5.10. Ortam ve kablo çalışma sıcaklığına bağlı düzeltme katsayıları[47, 49].

Ortam Sıcaklığı	Kabloda izin verilen veya önerilen çalışma sıcaklığı					
	40 ℃	60 ℃	70 ℃	80 ℃	85 ℃	90 ℃
30 ℃	1	1	1	1	1	1
35 ℃	0,71	0,91	0,94	0,95	0,95	0,96
40 ℃	-	0,82	0,87	0,89	0,9	0,91
45 ℃	-	0,71	0,79	0,84	0,85	0,87
50 ℃	-	0,58	0,71	0,77	0,79	0,82
55 ℃	-	0,41	0,61	0,71	0,72	0,76
60 ℃	-	-	0,49	0,63	0,65	0,71

Kablo döşeme şekillerine bağlı düzeltme katsayıları Tablo 5.9'da, ortam sıcaklığı ve kablo maks. çalışma sıcaklığına bağlı düzeltme katsayıları Tablo 5.10'da belirtilmiştir. Buradan uygun değerler seçilerek kablo akım taşıma hesapları yapılmaktadır. Denklem (5.17)'de gösterildiği gibi katsayılar çarpılarak kablonun döşeme şekli ve ortam koşullarına göre düzeltilmiş akım taşıma değeri bulunmaktadır. Projede kullanılan solar kablolar 4 mm^2 olup standart akım taşıma değeri 55 A'dir. İlgili katsayılarla çarpıldığında ise denklem 5.17'den görüleceği üzere 18,81 A olmaktadır.

$$I_D = I_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_n = 55 \times 0{,}45 \times 0{,}76 = 18{,}81\ A \qquad (5.17)$$

TEDAŞ tarafından belirlenen değere göre GES projeleri için DC gerilim düşümü %2, AC gerilim düşümü %3'ün altında olmalıdır. Denklem (5.17)'de 18 adet seri bağlı PV modül dizisinde DC gerilim düşümünün sınır değeri olan %2'ye göre gerilim değeri bulunmuştur. Bu gerilim değeri üzerinden denklem (5.19)'da kesit hesabı yapılmıştır. Denklem (5.20)'de tersten hesaplanarak PV modüllerde standart olarak bulunan 4 mm^2 kablo kullanıldığında oluşacak gerilim düşümü bulunmuştur. Örneklerde hesaplanan değerlere göre 4 mm^2 kablo gerilim düşümü yönünden uygundur. GES'lerde genellikle 4 mm^2 solar kablo tercih edilir. Ancak uzun mesafeye enerji iletimi olacaksa gerilim düşümü yönünden uygun olması açısından 6 mm^2 kablo tercih edilmektedir. İnce film PV modüller kullanıldığında çok fazla sayıda dizi oluşmakta ve bu diziler "harness" solar kablolar ile birleştirildiğinde ise 10 mm^2 gibi daha yüksek kesitler kullanılmaktadır.

$$e = n \times V \times \triangle v[\%] = 18 \times 36{,}78 \times 0{,}02 = 13{,}24\,V \tag{5.18}$$

$$S = \frac{L\,I}{x\,e} = \frac{60\times 8.7}{56\times 13{,}24} = 0.704\ \text{mm}^2 \tag{5.19}$$

$$\triangle v[\%] = \frac{100L\,P}{x\,SU^2} = \frac{100\times 55\times 5760}{56\times 4\times 662^2} = 0.352\% \tag{5.20}$$

Kabloların akım taşıma ve gerilim düşümü hesaplarında kablonun cinsi en önemli etkendir. Genellikle uygun fiyatlı ve hafif olması açısından alüminyum, düşük kesitli ve dayanıklı olması açısından bakır iletkenli kablo tercih edilmektedir. Bakırın erime sıcaklığı alüminyumdan daha yüksek olduğu için yüksek kısa devre sıcaklıklarında daha dayanıklıdır. Kabloların cinsine göre iletkenlik katsayıları(*x*); alüminyum için 35, bakır için 56'dır.

Tablo 5.11. DC gerilim düşümü.

	DC Kablolar Dizi No	L+ (m)	L- (m)	L(m) Top.	k_1	k_2	I_o (A)	I_D (A)	P (Wp)	U (V)	I (A)	S (mm^2)	Δv (%)	ΔP (%)
İnvertör	D 01	14	18	32	0,45	0,76	55	18,81	5760	662	8,7	4	0,188	0,188
	D 02	10	15	25	0,45	0,76	55	18,81	6080	699	8,7	4	0,139	0,139
	D 03	16	20	36	0,45	0,76	55	18,81	6080	699	8,7	4	0,200	0,200
	D 04	30	30	60	0,45	0,76	55	18,81	5760	662	8,7	4	0,352	0,352

Bu projede seçilen tüm kabloların gerilim düşümü, güç kaybı ve akım taşıma değerleri ilgili katsayılar dikkate alınarak hesaplanmış ve Tablo 5.11 ve Tablo 5.12'de özetlenmiştir.

Tablo 5.12. AC gerilim düşümü.

AC Kablolar Bağ. Nok.	L (m)	S (mm²)	n	k_1	k_2	k_3	I_o (A)	I_D (A)	P (We)	U (V)	I (A)	Δv (%)	ΔP (%)
İnvertör - Çatı Pano	5	5x25	1	0,79	0,90	0,84	106	63,31	20000	400	28,87	0,045	0,045
Çatı Pano - Ana Pano	100	5x25	1	0,79	0,90	0,84	106	63,31	20000	400	28,87	0,893	0,893
Ana Pano - EV 1	30	5x25	1	0,79	0,90	0,84	106	63,31	22170	400	32	0,297	0,297
Ana Pano - EV 2	25	5x16	1	0,79	0,90	0,84	79	47,18	11085	400	16	0,193	0,193

Yapılan hesaplara göre seçilen tüm kabloların uygun olduğu görülmüştür. Kablo hesapları yapılırken PV modüllerde bulunan her biri bir metre uzunluğundaki pozitif ve negatif solar kablolar da hesaba katılmıştır.

5.2.5. Kısa Devre Hesapları

Kısa devre hesapları önceki yıllarda belirli formüller kullanılarak el ile yapılmaktaydı ancak günümüzde daha doğru sonuçlar veren ETAP gibi bilgisayar yazılımları ile yapılmaktadır. Her seferinde tekrarlanan hesaplarda Denklem (5.21)-(5.25) formülleri kullanılabilir[50].

$$\%U_k = \sqrt{(\%U_x)^2 + (\%U_r)^2} \qquad \%U_r = \frac{P_k}{S_n} \tag{5.21}$$

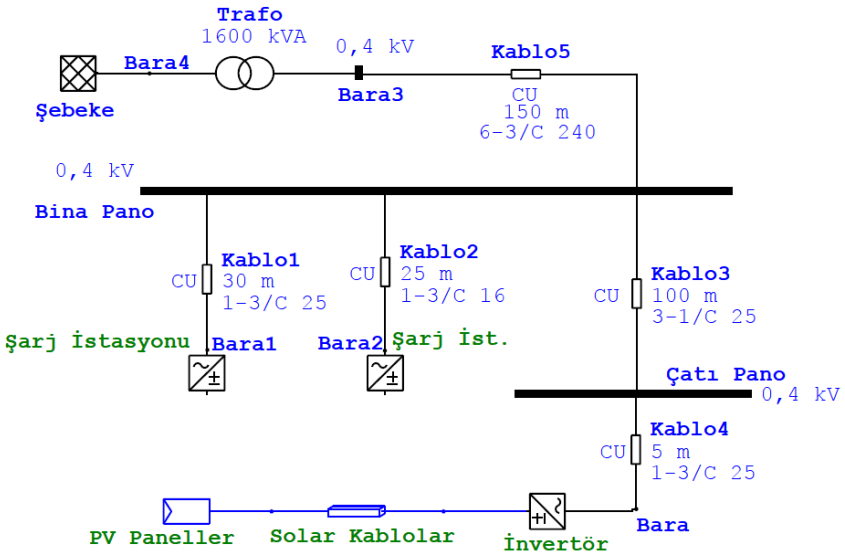
$$X_{tr} = \frac{\%U_x(U_n)^2}{S_n} \qquad R_{tr} = \frac{\%U_r(U_n)^2}{S_N} \tag{5.22}$$

$$I_{k1}{}'' = \frac{1{,}1U_n\sqrt{3}}{2|Z_{(1)}+Z_{(0)}|} \tag{5.23}$$

$$I_{k2}{}'' = \frac{1{,}1U_n}{2\sqrt{(R_t)^2+(X_t)^2}} \tag{5.24}$$

$$I_{k3}{}'' = \frac{1{,}1U_n}{\sqrt{3}\sqrt{(R_t)^2+(X_t)^2}} \tag{5.25}$$

ETAP yazılımı ile yapılan hesaplarda ise önce sistemin tek hat şeması oluşturulur. Bu yazılım üzerinde sisteme bağlı ne kadar çok bileşen modellenirse o kadar doğru sonuçlar alınır. Uygulanan projeye ait ETAP üzerinde modellenmiş sistemin tek hat şeması Şekil 5.20'te gösterilmiştir.



Şekil 5.20. ETAP üzerinde modellenen tek hat şeması.

Yapılan hesaplara göre elde edilen sonuçlar yazılım aracılığıyla çıktı olarak alınıp değerlendirilmektedir. Uygun olmayan kısımlarda değişiklik yapılarak tekrar hesaplama yaptırılır. Yapılan hesaplara göre kısa devre akımlarına uygun malzemeler seçilir. Bu projenin kısa devre hesap raporu Şekil 5.21'de gösterilmiştir.

Proje: GES	ETAP	Syf: 1
Yer: İstanbul	16.0.0C	Tarih: 10-04-2020
Sipariş No:		SN: 4359168
Mühendis: Tahsin Boyekin	Durum Analizi: SCIEC	Revizyon: Base
Dosya Adı: GES		Config.: Normal

Kısa Devre Akımı Özet Raporu

3-Faz, Faz-Toprak, Faz-Faz, ve Faz-Faz-Toprak Arıza Akımları

Bara		3-Faz Arıza			Faz-Toprak Arızası				Faz-Faz Arızası				*Faz-Faz-Toprak			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bara	0.400	2.573	3.714	2.573	1.526	2.203	1.526	1.526	2.228	3.216	2.228	2.228	2.325	3.356	2.325	2.325
Bara1	0.400	7.650	11.038	7.650	6.452	9.309	6.452	6.452	6.625	9.560	6.625	6.625	7.224	10.423	7.224	7.224
Bara2	0.400	6.215	8.966	6.215	5.230	7.545	5.230	5.230	5.382	7.764	5.382	5.382	5.870	8.468	5.870	5.870
Bara3	0.400	36.903	79.651	36.903	40.452	87.311	40.452	40.452	31.959	68.980	31.959	31.959	39.645	85.568	39.645	39.645
Bara4	34.500	1.674	4.412	1.674	2.345	6.183	2.345	2.345	1.449	3.821	1.449	1.449	2.437	6.425	2.437	2.437
Bina Pano	0.400	26.656	48.159	26.656	25.158	45.452	25.158	25.158	23.085	41.707	23.085	23.085	26.433	47.755	26.433	26.433
Çatı Pano	0.400	2.688	3.881	2.688	1.576	2.276	1.576	1.576	2.328	3.361	2.328	2.328	2.429	3.507	2.429	2.429

Tüm arıza akımları rms kA cinsindendir. Ip akımı değeri Metod C kullanılarak hesaplanmıştır.

* Faz-faz-toprak arıza akımı, 2 faz arıza akımından büyüktür.

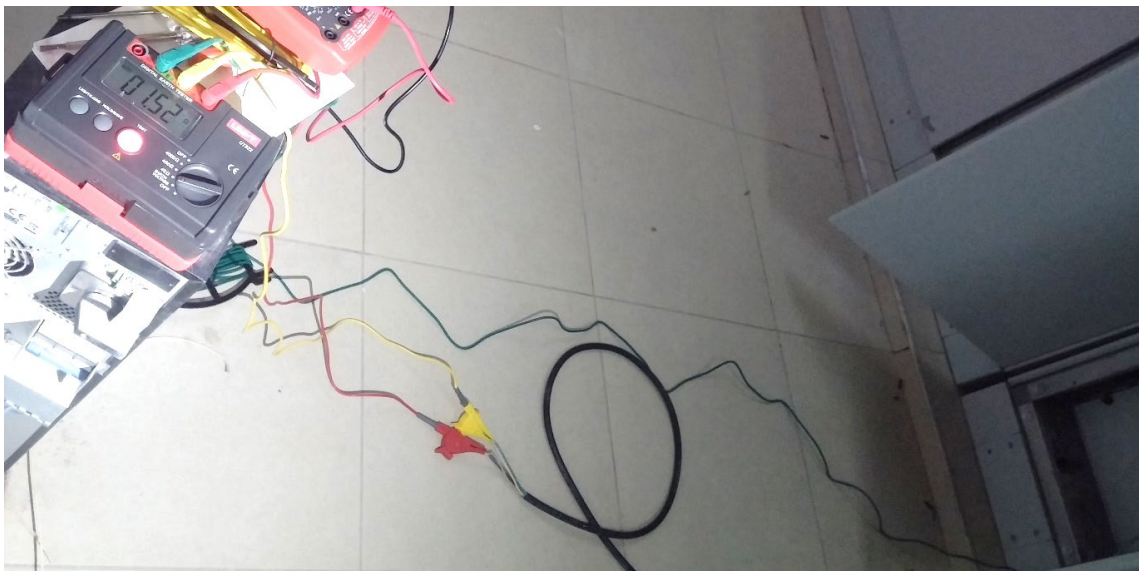
Şekil 5.21. ETAP kısa devre raporu.

5.2.6. Topraklama Hesabı

Güneş enerjisi santralinde tüm metal aksamlar, PV modüller, invertör ve alçak gerilim panoları binadaki eş potansiyel barada birleştirilmektedir. Sistemin bu bara üzerinden topraklaması sağlanmaktadır. Yönetmelik gereği yapılan ölçümlerde bina topraklamasının direnci 2 Ω'dan aşağıda olmalıdır. Topraklama iletkeni olarak genellikle 30x3.5 mm^2 galvaniz şerit iletken ve 16 mm^2 NYAF kablo kullanılmaktadır. Denklem 5.26'da topraklama yönetmeliği çizelge b-1 malzeme katsayıları dikkate alınarak yapılan hesaba göre kullanılan iletkenler uygun gözükmektedir[51]. Topraklama sistem analizini kısa devre hesaplarında kullanılan ETAP programı ile de yapabilmekteyiz.

$$S = \frac{I_a}{k}\sqrt{\frac{t_h}{\ln\frac{\theta_f+\beta}{\theta_i+\beta}}} = \frac{1000}{78}\sqrt{\frac{0{,}5}{\ln\frac{300+202}{20+202}}} = 10{,}036 \qquad (5.26)$$

Topraklama sisteminin tamamlanmasından sonra yapılacak ölçümler sonucunda bulunacak değerler müsaade edilebilir sınırların üstünde olduğu takdirde, topraklama sistemini iyileştirecek önlemler alınmalıdır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde hem sistemsel arızaların hem de güvenlik sorunlarının önüne geçilemeyebilir. Ayrıca sistem kurulumu tamamlandığında kabul için gelecek olan TEDAŞ ve dağıtım şirketi yetkilileri tarafından yapılan kontrollerde problem gözükmesi halinde projeye onay verilmeyecektir.



Şekil 5.22. Topraklama direnç (Ω) testi.

Kabul sırasında yapılan kontrollerin en büyük amacı güvenliktir. Uygulanan projedeki testlerden en yüksek değeri aldığımız ölçüm Şekil 5.22'de gösterilmiştir. Burada 1,52 Ω değer çıktığı görülmektedir. Topraklama açısından uygun bir projedir.

5.2.7. Diğer Elektrik Malzemeleri Hesapları

GES'de kullanılan diğer elektrik malzemeleri olarak termik manyetik şalter (TMŞ), pano içi bara, elektrik sayacı, kaçak akım koruma rölesi (KAKR) gibi elemanlar örnek verilebilir. Bu elemanların da hesabı yapılmaktadır. TMŞ'nin görevi hem gerekli durumda enerjiyi el ile müdahale ederek kesmek hem de güvenlik sebebiyle kendi kendine kesme işlemi yapmasıdır. Bu işlemleri yapabilmesi için kullanılacağı yere uygun akım değerinde olmalıdır. Denklem 5.27'de gösterildiği gibi önce oradan geçen akım bulunur.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\theta} = \frac{20000}{\sqrt{3}\times 400\times 1} = 28.87 \text{ A} \tag{5.27}$$

$$I_{TMŞ} = I \times 1{,}25 = 36{,}0875 \text{ A} \rightarrow 40 \text{ A TMŞ} \tag{5.28}$$

Bulunan akım değeri TMŞ'nin kesme akımını hesaplamak için 1,25 akım katsayısı ile çarpılır. Burada akım katsayısı TMŞ'nin sıcaklıktan etkilenip erken kesme işlemi yapmaması için kullanılmaktadır. GES'lerde bu katsayı kullanılmadan yapılan bazı uygulamalarda erken açma sorunları gözlemlenmiştir. Üretimin en ufak bir kesinti olmadan devam etmesi için bu katsayı önemlidir. Bu durumda Denklem 5.28'deki hesaba göre 40 A kesme akımına sahip TMŞ kullanılması gerekmektedir. 3W+N+PE(3 faz + nötr + toprak) olarak tasarlanan sisteme uygun TMŞ 4 kutupludur. Yani 4x40 A TMŞ kullanılmıştır. Burada yine birçok GES projesinde dikkate alınmadığı görülen çok önemli bir konuya dikkat edilmelidir. TMŞ aynı zamanda kabloyu da koruması gerektiği için döşeme şekline bağlı düzeltme katsayıları uygulandığında en az 40 A akım taşıyabilecek kablo seçilmelidir. Kaçak akım rölesi ise yönetmelikler gereği bina içi uygulamalarda elektriğin son kullanıcıya ulaştığı noktada 30 mA, ana pano ve diğer bina dışı uygulamalarda 300 mA olarak seçilmelidir. 30 mA olanlar insan hayatını korumak için, 300 mA olanlar ise bir yalıtım hatasından kaynaklanabilecek yangın riskini ortadan kaldırmak ve cihazları korumak için kullanılır. KAKR üzerinden geçen gerilime ve akıma uygun olarak seçilir. Bazı TMŞ'ler kaçak akım rölesi içermektedir. Bu TMŞ'ler panoda

iki adet ürün kullanarak harcanan alandan tasarruf etmek istenildiğinde tercih sebebi olabilir. Bu projede yer sıkıntısı olmadığı için 300mA ayrı bir KAKR kullanılmıştır.

Tablo 5.13. Bara akım taşıma kapasiteleri[52].

Devamlı Yükleme Akımı (A) (50 Hz. A.C. Çevre Sıcaklığı:25 °C Isınma: 30 °C)

Boyutlar mm	Kesit mm^2	Ağırlık kg/m	Boyalı Bara Adedi				Çıplak Bara Adedi			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV
12x2	24	0,21	125	250	-	-	110	220	-	-
15x2	30	0,27	155	270	-	-	140	240	-	-
15x3	45	0,4	185	330	-	-	170	300	-	-
20x2	40	0,36	205	350	-	-	185	315	-	-
20x3	60	0,54	245	425	-	-	220	380	-	-
20x5	100	0,89	325	550	-	-	290	495	-	-
25x3	75	0,67	300	510	-	-	270	460	-	-
25x5	125	1,12	385	670	-	-	350	600	-	-
30x3	90	0,8	350	600	-	-	315	540	-	-
30x5	150	1,34	450	780	-	-	400	700	-	-
40x3	120	1,07	460	780	-	-	420	710	-	-
40x5	200	1,78	600	1000	-	-	520	900	-	-
40x10	400	3,56	835	1500	2060	2800	750	1350	1850	2500
50x5	250	2,23	720	1200	1750	2300	630	1100	1500	2100
50x10	500	4,45	1025	1800	2450	3330	920	1620	2200	3000
60x5	300	2,67	825	1400	1980	2650	750	1300	1740	2400
60x10	600	5,34	1200	2100	2800	3800	1100	1860	2500	3400
80x5	400	3,56	1060	1800	2450	3300	950	1650	2200	2900
80x10	800	7,12	1540	2600	3300	4600	1400	2300	3100	4200
100x5	500	4,45	1310	2200	2950	3800	1100	2000	2600	3400
100x10	1000	8,9	1880	3100	4000	5400	1700	2700	3600	4800
120x10	1200	10,68	2200	3500	4600	6100	2000	3200	4200	5500
160x10	1600	14,24	2880	4400	5800	7800	2600	3900	5200	7000

Panoda kullanılacak bara yine üzerinden geçen akım miktarına göre seçilir. Baraların kesitine göre akım taşıma miktarı Tablo 5.13'te gösterilmiştir.

Şebekeye bağlı GES'lerde hem tek yönlü hem de çift yönlü sayaç kullanılmaktadır. Tek yönlü sayaç bilgi amaçlı, çift yönlü sayaç ise dağıtım şirketi ve kullanıcı arasındaki faturalama işlemi için kullanılmaktadır. Sayaçlar seçilirken faz sayısına, üzerinden

geçecek akıma ve gerilime uygun seçilir. Akım sayacın üzerinden geçemeyecek kadar büyük ise akım trafosu kullanılır, akım trafoları genellikle X/5A olarak bulunmaktadır. X değeri oradan geçen akıma göre belirlenir. Örneğin 87A akım geçen bir yerde bir üst değer olan 100/5 A akım trafosu kullanılır. Trafonun primerinden 87 A akım geçtiğinde sekonderinde 4,35 A gözükecektir. Bu projede mevcut bina sayaçları X/5 sayaçlar olduğundan buna uygun çift yönlü sayaç seçilmiştir. Ancak sayaç değiştirme işlemi hemen yapılmaz. Kabul esnasında veya bir gün önce/sonra, dağıtım şirketinin önceden haberi olduğu için kendi yetkilileri tarafından değiştirilir ve mühürlenir.

Panolarda olması gereken en önemli eleman ise acil stop butonudur. Olası olumsuz bir durumda ani müdahale için bu buton hayat kurtarıcı olabilir. Oldukça basit ve uygun maliyetli olsa da bazı projelerde kullanılmadığı görülmüştür. Güvenlik her zaman en önemli kriter olduğu için tüm projelendirmelerde güvenlik elemanlarına özen gösterilmelidir.

Küçük projelerde genellikle şebeke izleme rölesi ve enerji analizörü tercih edilmez. Bu projede ise her ikisi de mevcuttur. Şebeke izleme rölesi olarak CAN/CSA C22.2 No.14, EN 50581, IEC/EN 60255-1, 60255-127, 60255-26, 60255-27, 61000-6-2, 61000-6-3, UL 508 standartlarına sahip ABB CM-UFD.M31 cihazı kullanılmıştır.

5.2.8. TEDAŞ Onayı ve Kabul İşleri

Tüm hesaplar yapılıp projeler tamamlandığında alınan tüm izinler, tapu, gerekli ise vekalet, projeyi hazırlayan mühendis diploma ve diğer bilgileri, onaylı inşaat projesi gibi belgeler hem yazılı hem dijital ortamda TEDAŞ bölge müdürlüğüne(büyük güçlü projelerde TEDAŞ Genel Müdürlüğüne, Ankara) onaya sunulmaktadır. İncelenen projeler varsa eksikleri bildirilip tekrar onay işlemi için çağrılmakta, eksik yoksa onaylanmaktadır. Onaylanan projeler ile birlikte GES kurulumuna başlanabilir. Kurulum eksiksiz bir şekilde tamamlandığında dağıtım şirketine başvuruda bulunulur. Dağıtım şirketi bir yetkili görevlendirip GES'i kontrol ederek her şey tamamsa "kabule hazırdır" yazısı verir. Bu yazı alındıktan sonra kabul için istenen aşağıdaki belgeler tamamlanarak TEDAŞ'a başvuruda bulunulur.

İstenen belgeler[53];

1) Geçici kabule başvuru dilekçesi

2) İmzalı, ilgili dağıtım şirketinden alınmış geçici kabule hazırdır yazısı

3) Tesise ait TEDAŞ onaylı tüm ekleriyle birlikte 1 takım proje dosyası

4) Yüklenici tarafından verilen, geçici kabulde görev alacak sorumlu elektrik mühendisi yetkilendirme yazısı / yüklenici şirketin çalışanı olmayan fakat geçici kabulde bulunacak sorumlu elektrik mühendisi için yüklenicinin verdiği vekâletname

5) Yetkilendirme yazısı (Dağıtım şirketini temsilen geçici kabulde görev alacak elektrik mühendisi için)

6) Kabul talebinde bulunan şirket/kişinin iletişim ve fatura bilgileri ile Ticaret Sicil Gazetesi

7) Topraklama direnci ölçüm raporu (Ölçümü gerçekleştiren mühendise ait unvan, isim soyisim, oda kayıt no gibi bilgiler ile Topraklama Yönetmeliğinde bulunan formlar eksiksiz doldurulup imzalanmalıdır. Ayrıca, kullanılan cihazın kalibrasyon raporu eklenmelidir.)

8) Kullanılacak teçhizat malzemesi; TEDAŞ şartnamesi, usul ve esas, tip proje vb. mevzuatlara uygun olmalıdır. Malzeme ile ilgili mevzuat olmaması durumunda, IEC, HD, VDE, EN, TSE vb. standartlara uygun olmalıdır.

9) Çağrı mektubu ve Bağlantı Anlaşması

10) Tesis sahibi tarafından verilen, tesis sahibi adına geçici kabulde bulunacak kişiye ait vekâletname veya yetki yazısı

11) Yüklenici ile Tesis sahibi arasındaki imzalı sözleşme

12) Onaylı YEGM Raporu

13) Rölelerin test raporu

14) TEDAŞ'ın, geçici kabulde görevlendireceği inşaat mühendisi olmaması halinde başvuru sahibinin önereceği mühendis de kabul edilmektedir. (Önerilen mühendisin kamu kurum veya kuruluşu çalışanı olması gerekmektedir. Ayrıca bu kurumlardan alınan yetkilendirme yazısı da bulunmak zorundadır.)

15) Mevcut binalarda kurulacak tesislerde tadilat ruhsatı, yeni kurulacak üretim tesislerinde yapı ruhsatı olmak zorundadır. Fakat;

- Tadilat ruhsatı zorunlu olmayan binalarda Belediye veya Organize Sanayi Bölgesi (OSB)'nin statik projeye onay vermesi şartıyla, tadilat ruhsatının zorunlu olmadığı ve "işletilmesinde ve kurulmasında sakınca yoktur" cümlesi içeren yazı
- Arazi GES uygulamalarında ilgili OSB veya belediyeden alınan imar mevzuatına uygun olduğu ve Yapı Ruhsatı gerektirmediğini açık bir şekilde belirtmek şartıyla "işletilmesinde ve kurulmasında sakınca yoktur" cümlesi içeren yazı

16) İki farklı açıdan çekilmiş, tesisin tamamını gösteren fotoğraflar ve şalt sahasının teçhizatlarına ait çeşitli fotoğraflar

TEDAŞ'ın belirleyeceği tarihte TEDAŞ ve dağıtım şirketi yetkilileri ile projenin inşaat kısmı için yetkili kurumlardan bir inşaat mühendisi, GES yatırımcısı ve projeyi yapan firmadan bir elektrik mühendisi kabul heyeti olarak GES'i incelemeye gelir. Sorunsuz çalışan GES'in kabulü yapılır. Kabul belgeleri ile dağıtım şirketine gidilerek sistem kullanım anlaşması imzalanır. Artık GES şebekeye enerji vermeye ve verdiği enerji karşılığında dağıtım şirketinden belirli bir ödeme almaya hazırdır. Bu anlaşma geçerlilik süresi 10 yıldır. Daha doğrusu güncel yönetmelikler gereği 10 yıl boyunca GES şebekeye enerji satmak için tüm izinleri almış, üretilen ihtiyaç fazlası enerjiyi 10 yıl boyunca dağıtım şirketine satış yapacağı devlet tarafından garanti altına alınmıştır. GES sistem kullanım anlaşması yapılıp ilk faturasını dağıtım şirketine kestikten sonra (1 ay sonra), GES'in devri yapılabilir. Ancak bu süreye kadar GES devri yapılamaz. Devir yapılana kadar çağrı mektubu kimin/hangi şirketin adına çıkartılmışsa GES resmi olarak o kişiye/işletmeye aittir.

5.3. Elektrik Sistemi

GES projelerinde genel yerleşim ve tek hat şeması gibi çizimler genellikle AutoCAD yazılımı kullanılarak yapılmaktadır. Genel yerleşimde PV modüllerin, kabloların, invertörlerin ve diğer tüm ekipmanların yerleri ölçekli olarak çizilir. Tek hat şemasında ise ölçek yoktur. Tamamen elektriksel bağlantılara odaklanır. TEDAŞ onay sürecinde sunulan projeler A0 kâğıda ozalit çıktısı şeklindedir. Bu çıktılar ilgili yere ait çizimleri ve birçok detayı içermektedir.

5.3.1. PV Modül Bağlantıları

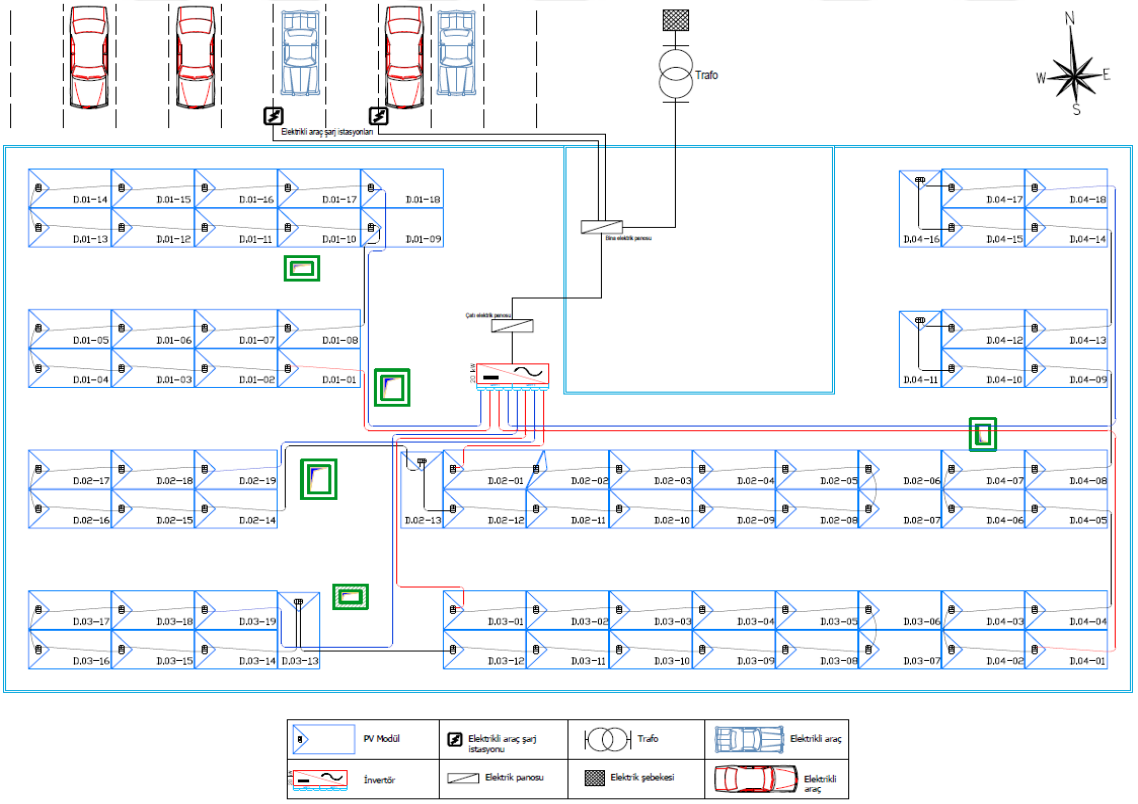
PV modüller, invertör uyumluluk hesaplarına göre belirli sayıda seri bağlanarak dizileri oluşturur. Bu diziler invertöre paralel bağlanır. Şekil 5.23'de seri bağlanan PV modüller gösterilmektedir. Bu projede 2 dizi 19 adet, 2 dizi 18 adet seri bağlı PV modülden oluşmaktadır.



Şekil 5.23. PV modül bağlantıları.

5.3.2. Santral Genel Yerleşim Planı

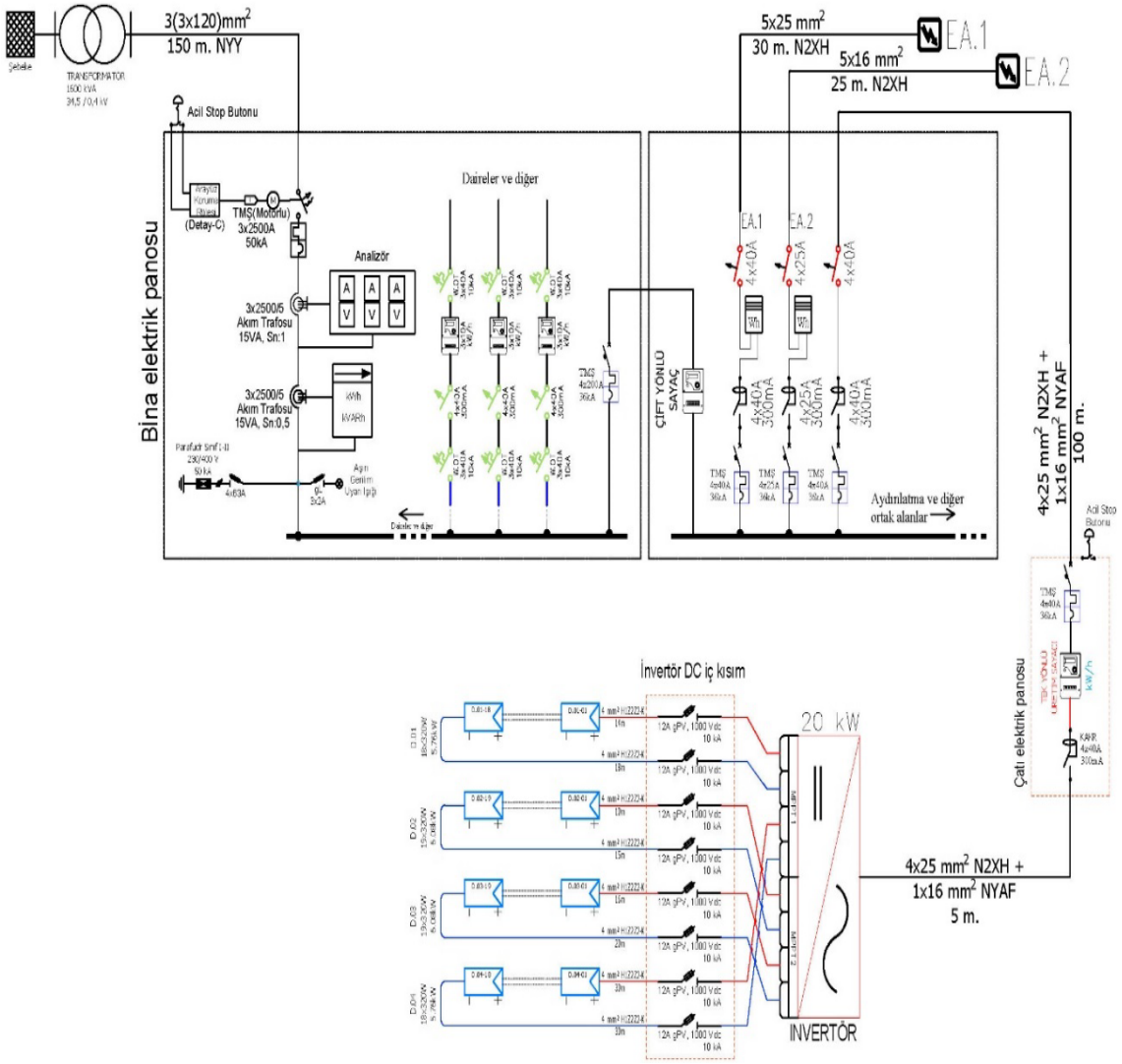
GES genel yerleşim planı PV modül, invertör, kablo ve sisteme bağlı diğer elemanların konumunu koordinatlı olarak gösteren çizimdir. Bu çizim ölçekli koordinatlı olması gerekmektedir. Proje uygulamaya geçildiğinde buradaki yerleşime göre uygulanacağı için hata yapmamak gerekir. Şekil 5.24'de genel yerleşim planı gösterilmiştir.



Şekil 5.24. Santral genel yerleşim planı.

5.3.3. Tek Hat Şeması

Tek hat şemasında tüm elektrik bağlantıları özetlenir. Kullanılan kabloların cinsi, metrajı bağlantı noktaları, şalterler vb. tüm bilgiler ve komponentler mevcuttur. Ölçek kullanılmadan yapılan bu çizimler GES için genel yerleşim planı ile birlikte en önemli çizimlerdir. Şekil 5.25'de projeye ait tek hat şeması mevcuttur.

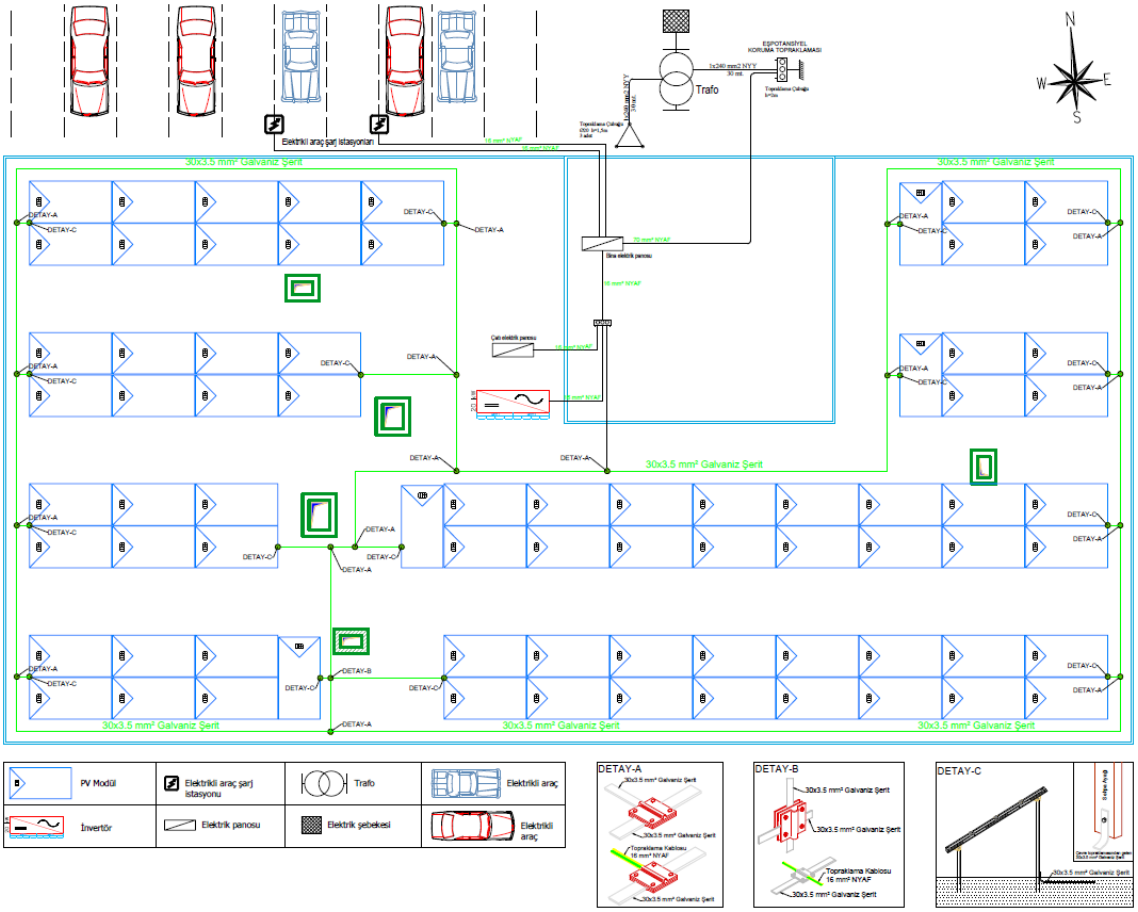


Şekil 5.25. Tek hat şeması.

AutoCAD ortamında oluşturulan tek hat şeması TEDAŞ'a teslim edilen proje dosyasının bir kısmını oluşturmaktadır. Bazı durumlarda kablo metrajları ve kesitleri tablo şeklinde bu şemada yer almaktadır.

5.3.4. Topraklama Hesabı Eki

Topraklama hesaplarına ek olarak genel yerleşim üzerinde topraklama sistemini gösteren çizimlerdir. Burada GES çevresi topraklama şeridi ve konstrüksiyona yapılan bağlantılar gösterilir.



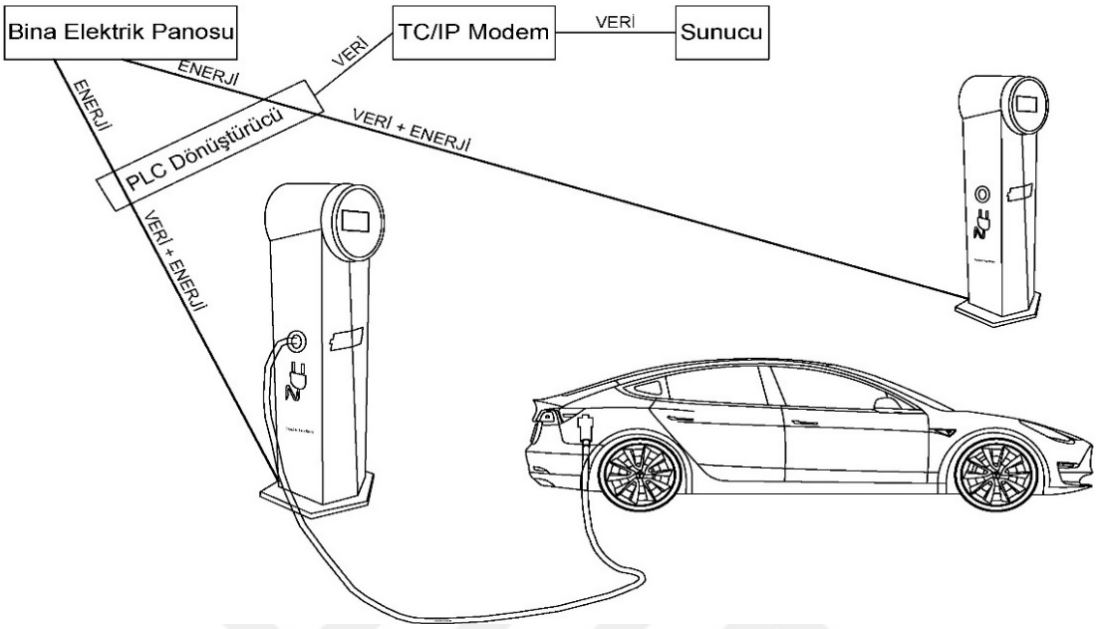
Şekil 5.26. Topraklama hesabı eki.

Özellikle arazi projelerinde topraklama kazık yerleri ile trafo ve dağıtım merkezi topraklama detayları gösterilir. Şekil 5.26'da topraklama planı gösterilmiştir.

5.3.5. Şarj İstasyonu Bağlantıları

Şarj istasyonu elektrik panosuna bağlı olduğundan aynı zamanda hem şebeke hem de GES ile irtibatlıdır. İstasyonun pano ile bağlantısı bir şalter üzerinden 3W+N+PE(3 faz + nötr + toprak) kablo ile sağlanmaktadır. Haberleşme için ayrıca bir bağlantı yoktur. Haberleşmeyi programlanabilir lojik kontrolcü (PLC) sistemi ile yani enerji kabloları üzerinden yapmaktadır. Bu sistemde enerji kablolarının diğer ucunda PLC haberleşme

sinyallerini çözümleyen analizör bulunur. Buradan alın an veriler yönetim sistemine ve gerekli ise oradan internet tabanlı veri sistemine aktarılır.

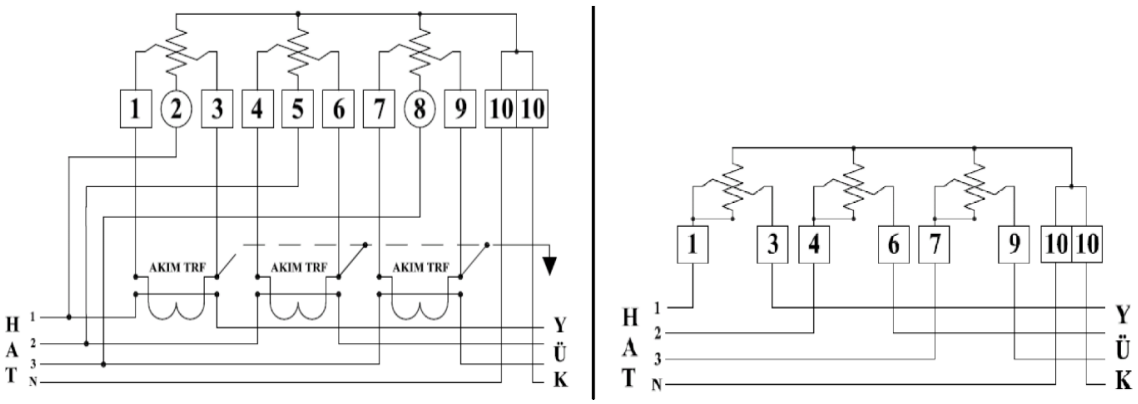


Şekil 5.27. Şarj istasyonu bağlantıları.

Bu projede de internet tabanlı sisteme aktarımı mevcuttur. Çünkü kullanıcılara kart verilmiş bu kart üzerinden enerji harcama tutarları internet ortamına aktarılıp kullanıcının bakiyesinden düşmektedir. Şekil 5.27'de şarj istasyonu bağlantıları gösterilmektedir.

5.3.6. Şebeke Bağlantıları

Sistem şebekeye pano üzerinden bağlanmaktadır. Bu pano içerisinde sırasıyla, TMŞ, kaçak akım rölesi, bara, çift yönlü sayaç ve tekrar TMŞ ile şebekeye bağlantı yapılır. Bu bağlantılar tek hat şemasında özetlenmiştir.



Şekil 5.28. Çift yönlü sayaç akım trafolu ve akım trafosuz bağlantı şeması[54].

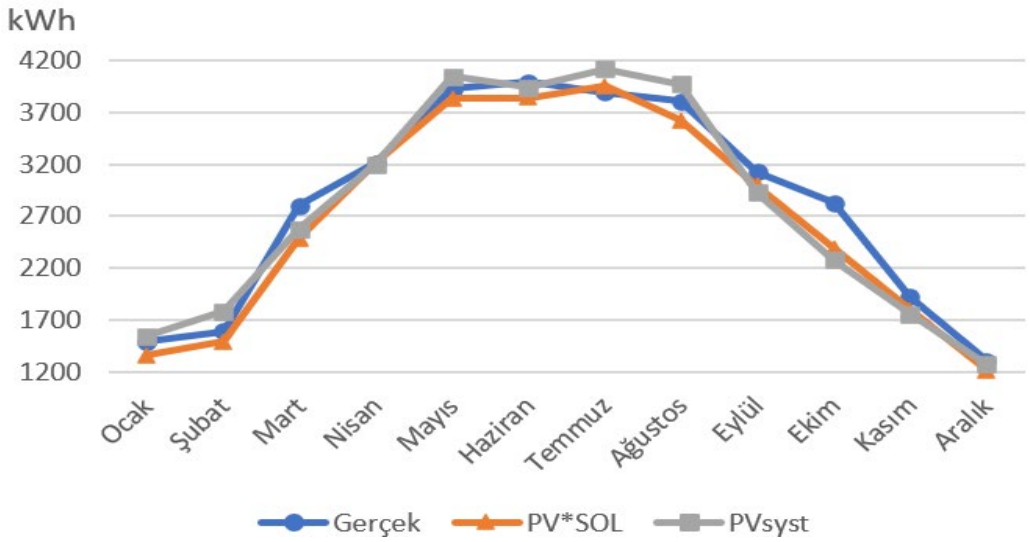
Çift yönlü sayacın bağlantı şeması ise Şekil 5.28'de gösterilmiştir. Hat şebeke kısmı, yük ise GES kısmıdır.

5.4. Üretilen Enerji Verileri/Grafikleri ve Ekonomik Analiz

GES tüm aşamaları tamamlanıp kurulum sonrası bir yıl süreyle yakından takip edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve projelendirme aşamasındaki tahmin yazılımları ile oluşturulan sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.4.1. Üretilen Enerji Verileri/Grafikleri

PV santraller elektrik üretiminde meydana gelen CO_2 emisyonlarını azaltmak ve gelecek nesillere daha sağlıklı bir dünya bırakmak için geliştirilmiş yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Aynı zamanda bir enerji yatırımıdır. Her yatırımda olduğu gibi bu yatırımın da geri dönüş süresi önem arz etmektedir. Bu sebeple, kurulacak GES piyasada en çok PVSyst ve PV*SOL yazılımları ile modellenerek aylık, yıllık, 10 yıllık(devlet tarafından 10 yıl enerji alım garantisi verildiği için) enerji üretim tahminleri yapılmaktadır. Genellikle PVSyst arazi tipi GES'lerde, PV*SOL ise çatı tipi GES'lerde tercih edilmektedir. Bu yazılımlar dışında birçok yazılım mevcuttur. Helios 3D, skelion(sketchup destekli) 3D modelleme üzerine kurulu ve ek analiz programına ihtiyaç duyan yazılımlar ile, Archelios, Homer Pro örnek olarak söylenebilir. Bu projede ise PVSyst ve PV*SOL yazılımları kullanılmış, ağırlıklı olarak PV*SOL üzerinden modellemeler yapılmıştır. Şekil 5.29'da görüldüğü gibi projede üretilen enerji, projelendirme aşamasında tahmin edilen üretim kapasitesine büyük oranda yakın çıkmıştır. Bunun sebebi olarak tüm koşulların iyi analiz edilip tahmin programlarına tüm detaylarıyla işlenmesi gösterilebilir.



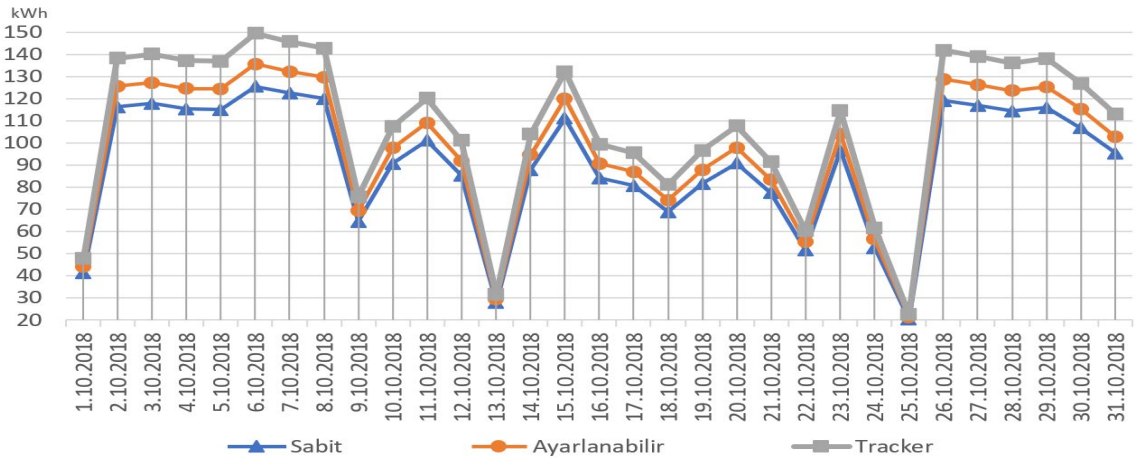
Şekil 5.29. Tahmini ve gerçek üretim verileri karşılaştırması

Tablo 5.14'de aylık üretimlerine göre sabit sistem 33893,90 kWh/yıl, ayarlanabilir sistem 36898,82 kWh/yıl, takip sistemi ise 40710,61 kWh/yıl enerji üretmişlerdir.

Tablo 5.14. GES'lerin kWh cinsinden aylık üretim verileri

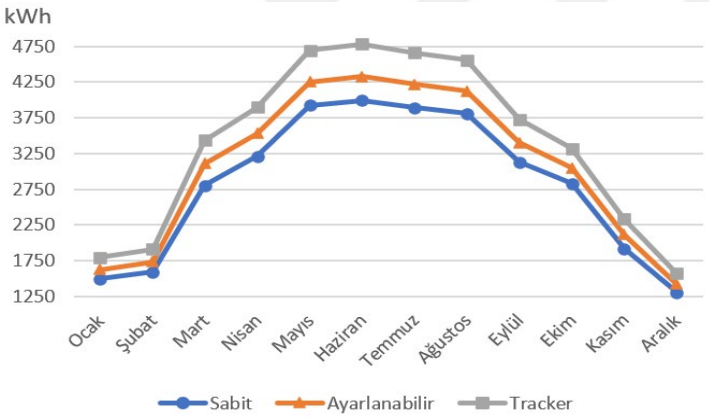
Aylar	**Sabit**	**Ayarlanabilir**	**Tracker**
Ocak	1493,10 kWh	1625,42 kWh	1795,75 kWh
Şubat	1590,75 kWh	1731,72 kWh	1913,19 kWh
Mart	2803,00 kWh	3106,82 kWh	3432,37 kWh
Nisan	3211,00 kWh	3528,67 kWh	3898,43 kWh
Mayıs	3923,27 kWh	4249,81 kWh	4695,14 kWh
Haziran	3992,30 kWh	4324,59 kWh	4777,75 kWh
Temmuz	3891,00 kWh	4218,57 kWh	4660,63 kWh
Ağustos	3806,88 kWh	4123,73 kWh	4555,85 kWh
Eylül	3126,90 kWh	3404,01 kWh	3724,02 kWh
Ekim	2830,10 kWh	3050,40 kWh	3351,95 kWh
Kasım	1920,00 kWh	2113,78 kWh	2335,28 kWh
Aralık	1305,60 kWh	1421,30 kWh	1570,24 kWh

Üretilen enerjileri günlük olarak değerlendirdiğimizde örneğin Şekil 5.30'da Ekim ayı için tüm GES'lerin üretim verileri grafiğini görebilmekteyiz.



Şekil 5.30. Ekim ayı üretim verileri.

Şekil 5.31'de ise yıllık üretim tahminlerinin aylara göre grafiği mevcuttur. Burada "Sabit" sabit konstrüksiyonlu GES'in, "Ayarlanabilir" manuel tek eksenli takip sistemine sahip GES'in, "Tracker" ise tek eksenli otomatik takip sistemine sahip GES'in üretim verilerini göstermektedir.



Şekil 5.31. Aylara göre üretim verileri.

Üretim verilerine göre bulutlu günlerde enerji üretiminde fark düşük olurken güneşli günlerde güneş takip sistemleri öne çıkmaktadır. Tek yönlü otomatik takip sistemi elektrik tüketimi açısından değerlendirildiğinde büyük güçlü GES'lerde daha avantajlı gözükmektedir. Çünkü aynı motor ve mekanik sistemde çok daha fazla PV modül kontrol edilebilmektedir. Bu grafikte de diğer sistemlere göre daha fazla fark oluşturamamasının nedeni enerji tüketimi ve masaların birbirine olan gölgesi olarak düşünülebilir. Çatı GES olduğu için dar alanda takip sistemi kurmak dezavantajlı olabilmektedir. Ancak arazi GES'lerde daha geniş alanda ve tek motorla daha çok sayıda PV modül kontrol edilebildiği için takip sistemleri daha avantajlı olmaktadır.

5.4.2. Ekonomik Analiz

Kurulan GES enerji üretimi için kurulmuş olsa da yatırım değerine de sahiptir. Bundan dolayı ekonomik yatırım miktarı iyi değerlendirilmeli ve geri dönüş süresi dikkate alınmalıdır. Bu projede elde edilen verilere göre Tablo 5.15 oluşturulmuş ve yatırımın geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Geri dönüş süresi hesaplanırken bakım onarım giderleri, PV modül verim kayıpları gibi etkenler göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 5.15. Yatırım ve geri dönüş süreleri

		Sabit		**Ayarlanabilir**		**Tracker**
PV Panel	₺	45.000,00	₺	45.000,00	₺	45.000,00
Inverter	₺	15.000,00	₺	15.000,00	₺	15.000,00
DC Kablo	₺	1.200,00	₺	1.200,00	₺	1.200,00
AC Kablo	₺	1.500,00	₺	1.500,00	₺	1.500,00
Panolar	₺	5.400,00	₺	5.400,00	₺	5.400,00
İşçilik	₺	12.600,00	₺	12.600,00	₺	12.600,00
Resmi Harçlar	₺	6.600,00	₺	6.600,00	₺	6.600,00
Proje Tasarım	₺	13.500,00	₺	13.500,00	₺	13.500,00
Konstrüksiyon	₺	18.000,00	₺	24.000,00	₺	45.000,00
Diğer Giderler	₺	7.200,00	₺	7.200,00	₺	7.200,00
Öngörülemeyen	₺	6.000,00	₺	6.000,00	₺	6.000,00
Toplam Tutar	***₺***	***132.000,00***	***₺***	***138.000,00***	***₺***	***159.000,00***
Üretilen Enerji		33,9 MWh/yıl		36,9 MWh/yıl		40,7 MWh/yıl
Yıllık Enerji Satışı	₺	27.047,33	₺	29.445,26	₺	32.458,22
Yıllık Bakım Onarım	₺	2.400,00	₺	3.000,00	₺	6.000,00
Yıllık Kayıp		1,2%		1,2%		1,3%
Amorti Süresi		***5,75 yıl***		***5,60 yıl***		***6,31 yıl***
10 Yıllık Kazanç	***₺***	***100.325,47***	***₺***	***111.050,43***	***₺***	***87.237,65***

Tablo 5.15'e göre ayarlanabilir açılı sistem diğerlerine göre daha avantajlı gözükmektedir. Bina üzeri GES olduğu için bina teknik elemanları tarafından ayarlanabilir açılı GES'in açı ayarlamaları kolayca yapılmış ve belirli sıklıkla güneşe en doğru konuma getirilmiş olması daha verimli olmasını sağlamıştır. Tek eksenli otomatik takip sisteminin ise bu konuda geride kalmış olmasının en büyük sebebi yatırım

maliyetidir. Daha önce bahsedildiği gibi avantajlı olması için büyük güçlü GES'ler tercih edilmelidir.

Tablo 5.16. Farklı enerji tüketim senaryolarına göre yatırımın geri dönüş süresi

Bina Enerji Kullanımı	0%	10%	10%	25%	50%	100%
Şarj İstasyonu Kullanımı	0 saat/hafta	0 saat/hafta	10 saat/hafta	25 saat/hafta	50 saat/hafta	100 saat/hafta
Toplam Yatırım Miktarı	**₺ 132.000**	**₺ 132.000**	**₺ 132.000**	**₺ 132.000**	**₺ 132.000**	**₺ 132.000**
Üretilen Enerji	33,9 MWh/yıl	33,9 MWh/yıl	33,9 MWh/yıl	33,9 MWh/yıl	33,9 MWh/yıl	33,9 MWh/yıl
Tüketilen Enerji	0,0 MWh/yıl	4,1 MWh/yıl	14,5 MWh/yıl	36,4 MWh/yıl	72,7 MWh/yıl	145,4 MWh/yıl
Yıllık Enerji Satışı	₺ 27.047	₺ 23.743	₺ 15.444	₺ -	₺ -	₺ -
Yıllık Fatura Düşüşü	₺ -	₺ 2.484	₺ 8.724	₺ 20.336	₺ 20.336	₺ 20.336
Yıllık Bakım Onarım	₺ 2.400	₺ 2.400	₺ 2.400	₺ 2.400	₺ 2.400	₺ 2.400
Yıllık Kayıp	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%
Amorti Süresi	**5,75 yıl**	**5,97 yıl**	**6,60 yıl**	**7,36 yıl**	**7,36 yıl**	**7,36 yıl**
10 Yıllık Kazanç	**₺ 100.325**	**₺ 93.856**	**₺ 77.605**	**₺ 47.363**	**₺ 47.363**	**₺ 47.363**

Farklı enerji tüketim senaryolarına göre hazırlanmış geri dönüş süreleri Tablo 5.16'da özetlenmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere enerji satışı daha avantajlı gözükmektedir. Ancak bu durum 31.12.2017 tarihinden önce geçici kabulü yapılmış tesisler için alınan dağıtım bedelinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca enerji satış tutarı da proje geçici kabul tarihi itibari ile yürürlükte olan yönetmelik gereği oldukça elverişli bir bedelden yapılmaktadır. Günümüzde birkaç farklı enerji satış bedeli senaryosu olmakla birlikte genel olarak alış fiyatından satış yapılmaktadır. Bu durumda ise vergilerle birlikte düşünüldüğünde üretilen enerjiyi satmak yerine iç ihtiyaçta tüketmek amorti süresini azaltmaktadır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

6.1. Giriş

GES tüm aşamaları tamamlanıp kurulum sonrası bir yıl süreyle yakından takip edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve projelendirme aşamasındaki önemli hususlar değerlendirilmiştir. Ayrıca bu proje, diğer uygulama projeleri ve incelenip raporlanan projelerden elde edilen tecrübelere dayanılarak bazı önerilerde bulunulmuştur.

6.2. Proje Değerlendirmesi

Projenin üretim ve yatırım maliyetleri değerlendirildiğinde ve yapılan araştırmalar neticesinde otomatik tek eksenli takip sistemi motor başına düşen masa uzunluğu arttıkça kWp başına daha düşük maliyete kurulabilmektedir. Bu durumda küçük projelerde maliyetleri yüksek olduğu için geri dönüş süreleri uzayabilmektedir. Ancak yine de her proje kendi konumu ve şartları göz önüne alınarak değerlendirilmeli ve PVSyst gibi analiz programları ile tüm detayları modellenerek ön değerlendirmeden geçirilmelidir. Modelleme yapılırken takip sistemlerinin motor ve kontrol merkezi elektrik sarfiyatı, analiz programının tüketim kısmına işlenmelidir. Uygulanan projeden elde edilen gerçek veriler ışığında, sürekli erişilebilir konumda olan küçük projeler için manuel tek eksenli takip sistemi yatırımın geri dönüş süresi bakımından daha avantajlı gözükmektedir. Elektrikli araç şarj istasyonu, elektrikli araç sayısı bölgede düşük seviyede olduğu için yeterince test edilememiş olsa da elde edilen veriler ışığında yıllık toplam üretim tüketim dengesine bakıldığında normal kullanımda GES tarafından enerjisi karşılanabilmektedir. Üretim ve tüketim aynı noktada olduğu için enerji nakli sırasında kayıplar da yok denecek kadar azdır. Bina daha yeni olduğu için ortak alanlar ve şarj istasyonu kullanımı az olduğundan çoğunlukla şebekeye enerji satışı gerçekleşmiş ve karşılığında önemli ölçüde kâr elde edilmiştir.

Projenin tasarım aşamasında kullanılan analiz programları ile yapılan üretim tahminleri gerçek değerlere oldukça yakın çıkmıştır. Bunun en büyük sebebi tüm kayıpların doğru bir şekilde analiz programlarına işlenmiş olmasıdır. Küçük detaylar olsa da yatırımın geri dönüş süresini veya üretim-tüketim dengesini doğru öngörebilmek açısından önemli olmaktadır. Örneğin tozlanma kaybı gibi ufak detaylar %1-2 civarında kayba neden

olmaktadır ve buna benzer birkaç kayıp birleştiğinde dikkate değer değişiklik oluşturmaktadır.

Proje tasarlanırken yapılan hesaplarda yan yana giden kablolarda kablolar arası mesafe ve toplam yan yana kablo adedi kablonun taşıyabileceği akım miktarını belirlemede kullanılmıştır.

Sabit konstrüksiyonlu GES'lerde PV modül açılarını belirlemek için yapılan hesaplar oldukça önemlidir. Bu konuda üretim tahmini programları ile optimum açı seçilebilir. Hangi aylarda ne kadar tüketim varsa ona göre üretimleri karşılaştırarak açı seçilir. Bu arada açı büyüdükçe gölge miktarı artacağı için yıllık üretim kaybına etkisi de göz önüne alınmalıdır. Ayrıca açı hesaplanırken dikkat edilecek hususlardan biri de kar yüküdür. Kar yükü fazla olan bölgelerde düşük açılı sistemlerde kar birikmesi ve erime süresi daha fazla olacaktır.

Elektrikli araç şarj istasyonu bu projede şebeke bağlantılı olduğu için ve hedef araç kitlesi AC şarj desteklediği için AC güç girişli kullanılmıştır. AC-DC dönüşümlerde yaşanan kayıpları ortadan kaldırıp daha verimli bir sistem olması açısından DC şarj destekleyen elektrikli araçlar şarj edileceğinde DC girişli bir şarj istasyonu tercih edilebilir. Özellikle de şebeke bağımsız sistemlerde PV modüllerin ürettiği DC enerji AC'ye hiç dönüştürülmeden akü sistemi ve şarj istasyonuna aktarılabilir.

Yapılan çalışmada bakım sürekli bakım gerektiren bir parça olmadığı için belirli şartlar altında bakım uygulaması iki yılda bir veya birkaç kez uygulanabilir. Bu çalışmada yılda bir bakım uygun görülmüş olup genel bağlantı elemanları kontrolü, konstrüksiyon vidaları tork kontrolü, parafudr, sigorta kontrolü gibi kontroller yeterli olmaktadır. Projenin şartlarına bağlı olarak farklı kontrol maddeleri mevcuttur. Bu kontrollerde termal kamera kullanılarak yapılan incelemeler oldukça güzel sonuçlar vermektedir. Örneğin PV modülde bulunan kılcal çatlak sebebiyle ısı oluşumu hemen fark edilip gerekli ise PV modül değişimi sağlanmaktadır. Güncel teknolojiden faydalanıp drone ile genel görünüme odaklanarak hatalar mevcutsa bunların tespiti de kolayca yapılabilmektedir. Bu projede drone ile birkaç kez kontrol yapılmış olup herhangi bir hata tespit edilmemiştir.

Projede karşılaşılan önemli ve kritik konu sistem güvenliği olmuştur. Yaşanan olay, proje testleri ve tüm işlemleri tamamlandıktan ve devreye alındıktan iki hafta sonra olmuştur.

Bina elektrik odasına giriş çıkışlar yetkili personel tarafından yapılmaktadır. Ancak yetkili personellerin konuyla alakalı bilgisi yok ise sadece bina elektriği kısmıyla ilgilenmesi, GES kısmına müdahale etmemesi gerekmektedir. GES şebeke izleme rölesinin enerji aldığı kablolara müdahale edilip faz ve nötr yerleri karıştırıldığı için sistem kendini korumaya almış ve GES'i devre dışı bırakmıştır. Bu sorun tarafımıza bildirilene kadar konuya hakim olmayan kişiler tarafından müdahale edilerek zaman kaybedilmiş ve GES'in uzun süre üretim yapmasına engel olunmuştur. Bu sebeple konuyla ilgili bilgisi olmayan kişilerin hiçbir zaman GES veya başka konuda müdahalede bulunmaması gereklidir. Bu konu cihazların güvenliği için önemli oluğu gibi asıl olarak insan güvenliği için önemlidir. Ayrıca olası bir cihaz arızasının önüne geçmesini sağladığı için rölenin ve diğer tüm koruma elemanlarının ne kadar önemli olduğu bir kez daha kanıtlanmıştır.

6.3. Öneriler

Çalışmanın sonuçlarından ve buna benzer diğer uygulamalar ile arazi GES'lerden elde edilen bilgi ve tecrübelere dayanarak bu tarz sistemlerle çalışma yapacak araştırmacı ve projeciler için yol gösterici olması ümit edilen öneriler;

- Çalışma yapılacak alan çalışma yapacak kişi tarafından mutlaka işe başlanmadan önce incelenmeli ve bu alan çatı projesi ise mimari proje ile uyumluluğu da kontrol edilmelidir. Görüldüğü kadarıyla çoğunlukla mimari projede olmayan, PV modül yerleştirmeye engel veya PV modüle gölge yapacak elemanlar inceleme sırasında ortaya çıkmaktadır. Bu da projede önemli değişikliklere sebep olmaktadır.
- Kullanılacak enerji üretimi tahmin yazılımları sayısı ne kadar fazla olursa o kadar çok veri elde edilmekte ve bu verilerin ortalamaları ile gerçeğe daha yakın sonuçlara ulaşılmaktadır. Ancak bunu yaparken seçilen programların tüm şartları algılayabildiği ve tüm teknik verileri kullandığından emin olmak gerekir. Az veri ile çalışan programlar gerçek sonuçlardan daha uzak olacaktır. Kullanılan yazılımlara PV modül kirlenme kayıpları, yaşlanma verim kaybı, aynı MPPT'ye giren dizilerin gerilim farkı kaybı, takip sistemi elektrik sarfiyatı, arazi projelerinde aydınlatma, güvenlik kameraları, yönetim ofisi elektrik sarfiyatları mutlaka dahil edilmelidir.
- Kablo kesit hesaplarında önce kaç adet kablonun yan yana olduğu ve aralarında ne kadar mesafe olacağı ile kabloların geçeceği yerin ortalama sıcaklık değeri ve

kabloların kablo borusunda, toprakta veya havada gideceği yer belirlenmelidir. Bunlar belirlendikten sonra elde edilen katsayılarla kablonun akım taşıma kapasitesi bu şartlara göre hesaplanmalıdır. Yapılan akım taşıma ve gerilim düşümü hesaplarından sonra belirlenen kesitin, kablonun akım taşıma katsayıları ile hesaplanmış akım değerine göre seçilen şalterin açma akımını da taşıyıp taşımadığı kontrol edilir. Taşımadığı durumda mutlaka bir üst değer seçilmelidir. Aksi halde şalter kabloyu korumuyor demektir.

- Kablolar belirlenirken kablonun yalıtkan malzemesi ortam koşullarına göre seçilmelidir.
- Alüminyum kablo kullanılması durumunda Al-Cu bimetal kablo başlığı mutlaka kullanılmalıdır.
- PV modüllerin kabloları da dahil olmak üzere tüm kablolar keskin dönüşler yapmadan "S" verilerek döşenmelidir.
- PV modüllerdeki solar kablolar rüzgârda sallanmaması için güneşe dayanıklı kablo bağları ile sabitlenmelidir.
- Tüm topraklama bağlantıları aynı eşpotansiyel barada toplanmalıdır.
- Yıldırımdan korunma sistemi kullanılacaksa pasif paratoner tercih edilmeli ve topraklama eşpotansiyel barasına bağlanmalıdır. Topraklama sisteminin mümkün olduğunca iyi olması gerekmektedir. Paratoner kullanılsa da kullanılmasa da topraktan veya hattan gelebilecek darbelere karşı mutlaka parafudr kullanılmalıdır.
- Özellikle arazi GES'lerde yağmur yağdığı zaman oluşan nem invertörlerde hormoniklerin kaçak yapmasına sebep olmaktadır. Çok küçük miktarda ve zararsız olsa da kaçak akım rölelerinin sistemi açmasına ve enerji üretiminin durmasına sebep olmaktadırlar. Genellikle çözülemeyen ve kablolarda kaçak olduğu sanılan bu durumun önüne geçmek için gerçek efektif değer (True RMS) kaçak akım röleleri tercih edilebilir. Bu röleler her frekansı ayrı değerlendirdiği için harmonik kaçakları yok sayma özelliğine sahiptir.
- Şebekeye bağlı inverörler şebeke olmadığında çalışmadığı için çok sık şebeke elektrik kesintisi olan yerlerde hibrit invertörlerin tercih edilmesi daha faydalı olabilir. Ancak bu durum yatırım maliyetini artıracağı için iyi analiz yapılmasını gerektirir.

- Takip sistemine sahip GES'lerde motor veya kontrol sistemi arızası yaşanabildiği için kurulum dikkatli ve teknik açıdan uygun yapılmalıdır aksi halde yatırımın geri dönüş süresi çok uzamaktadır. Sürekli yaşanan arızalar ve geç müdahale sebebiyle sabit sistemlerden daha az yıllık üretim gerçekleştiren takip sistemli GES'ler mevcuttur.
- Tüm GES'lerde belirli aralıklarla bakım onarım yapılmalıdır. Bu bakımlarda sigorta, parafudr ve bağlantı ekipmanları kontrol edilmelidir. Ayrıca vidaların bulunduğu aksamlar özellikle klempler tork kontrolü yöntemi ile kontrol edilmelidir. Termal kamera ile PV modüller ve bağlantı noktaları incelenmeli gereğinden fazla sıcaklık olan yerlere detaylı inceleme yapılmalıdır. Yangın tüpleri de değişim zamanı gelince değiştirilmelidir.
- 6331 sayılı kanun çerçevesinde, şantiyede çalışanların can güvenliği için gerekli tedbirleri almak zorunludur. İş güvenliği ile ilgili levhalar görülecek şekilde gerekli yerlere konulacaktır. İnvertör, pano, trafo, metal konstrüksiyon vb. ana komponentler üzerinde bulunması gereken tüm yüksek gerilim, çift yönlü besleme vb. ikaz, ölüm tehlikesi levhası, kullanma talimatı ve uyarı plakaları uygun şekilde hazırlanıp ilgili kısımlara dayanıklı bir şekilde montaj yapılmalıdır.
- Elektrikli araç şarj istasyonları çıkış prizi tek tip olmamalıdır.
- İnvertörler mümkün oldukça gölgede olmalı, güney kısımlarda ve güneş altında olmamalıdır. Bunu yaparken havalandırmaları kısıtlanmamalıdır.
- İnvertörlerde kullanılmayan dizi girişleri varsa buradaki konnektörler nemden ve diğer dış etkenlerden zarar görmemeleri için konnektör kapatıcılar ile kapatılmalıdır. PV modüllerin uzun süre beklemesi gerekli ise ve koşullar kötü ise mutlaka konnektörleri kapatılmalıdır. Aksi halde konnektörler zarar görüp işlevselliğini kaybeder.
- PV modüller konstrüksiyona sabitlenirken yanlardan sıkıştırılarak değil alttan ve üstten klempler ile sabitlenmelidir. Aksi halde dikkat edilmeden tasarlanan birkaç projede hem genleşmenin etkisi hem de yanlardan yapılan sıkışmanın etkisi ile çanak şeklini almaya ve parçalanmaya başlar. Bu şekilde hatalı tasarım yapılan projelerdeki PV modüllerde çoğu hücrede kılcal kırıklar oluşmakta ve bazı PV modüller tamamen parçalanmaktadır. Bu santralleri düzeltmek için yapılabilecek pek bir şey bulunmamaktadır. Bu sebeple doğru projelendirme oldukça önemlidir.

- PV modül sehpalarının yerden yüksekliği bölgenin kar yüksekliği ve ot yüksekliğine göre iyi ayarlanmalıdır. Ot için çözümler bulunmakta ancak kar sebebiyle üretim kaybı yaşanması olasıdır. Kar yüksekliği fazla olan bölgede PV modül sehpaları yerden yüksek olsa da yeterli yükseklikte olmadığı için kar altında kalan PV modüller üretim kaybı yaşamaktadır. Bir panelin bile gölgede kalması panelin bulunduğu tüm diziyi ve hatta oluşan gerilim farklılıkları sebebiyle invertördeki aynı MPPT'ye bağlı diğer dizileri de etkilediği için önemli ölçüde üretim kaybına sebep olmaktadır.
- PV modüllerin üzerine kar ve toz birikmesine engel olmak ve yağmur sularının PV modül üzerinden kolayca atılmasını sağlamak için modüllerin çapraz yerleştirilme tasarımı kullanılabilir. Bu tasarımda PV modülün yere en yakın kısmı köşesi olacağı için kolayca kar, sıvı veya toz akışı gerçekleşir. Ayrıca köşeleri kırpılmış çerçeveye sahip PV modüller de bu tasarıma ek destekleyici çözümdür. Çerçevesiz modeller daha iyi bir sonuç verir ancak fiyat açısından yüksek olduğundan genellikle tercih edilmemektedir.

6.4. Gelecek Çalışmalar

Yapılan çalışmada günümüzün en büyük problemi olan küresel ısınmanın önüne geçebilmek adına yenilenebilir enerjiden faydalanılmış ve fosil yakıtlı araçlar yerine elektrikli araçlar kullanılması için şarj istasyonu kurulmuştur. Gelecek çalışmalarda bu sistemi yaygınlaşan yeni nesil teknoloji, yapay zekâ, ile birleştirerek yenilenebilir enerjili akıllı bina elektrik altyapısı oluşturmak amaçlanabilir. Burada kullanılabilecek sistemler, birbiri ile irtibatlı hibrit invertörler, akıllı bina otomasyon sistemi ve V2G olarak sıralanabilir. Ayrıca tercih edilecek PV modül, güncel teknoloji ile birlikte maliyeti oldukça düşen ve polikristal modül ile arasında maliyet açısından neredeyse fark kalmamış monokristal modül olabilir. Sıcak iklimde ve parçalı gölgeye maruz kalabilecek bir konumda ise ince film(CdTe, CIGS) modüller tercih edilebilir. Kayıpları ve gerekli kablo kesitlerini azaltmak adına büyük güçlü projelerde DC sistem voltajı 1500V seviyesine çıkarılabilir. Günümüzde bu sisteme uyumlu ürünler daha ulaşılabilir olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Boyekin, T., Kıyak, İ., (2018). Rooftop Solar Power Plant Based Electric Vehicle Charging Station. 6. European Conference On Renewable Energy Systems (ECRES), 25-27 Haziran 2018. İstanbul, Türkiye.
2. van Kamp, I. ve van den Berg, F., (2018). Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. Acoustics Avustralya, 46(1), 31-57. Doi: 10.1007/s40857-017-0115-6.
3. Boyekin, T., Kıyak, İ., Abdullayev, F., (2018). Light Pipe Supported Artificial Intelligence Based Tunnel Lighting. 10. International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education. 17-18 Haziran 2019. Roma, Italya.
4. Li, G., ve diğerleri, (2020). Building integrated solar concentrating systems: A review. Applied Energy, 260, 114288. Doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114288.
5. Chaudhary, W., (2016). Photovoltaic Solar Tracker For Power Optimization. Yüksek Lisans Tezi. Huddersfield Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Huddersfield, İngiltere.
6. Özçelik, S., (2012). Fotovoltaik (PV) Teknolojileri. Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi. Ankara.
7. Messenger, R.A., Ventre, J., (2004). Photovoltaic Systems Engineering, Boca Raton, Florida, ABD, CRC Press.
8. Fraas, L., (2014). Chapter 1: History of Solar Cell Development.
9. NREL, (2020). NREL Photovoltaic Research, http://www.nrel.gov/pv/ (05.05.2020).
10. Wolfe, P. (2019). An overview of the world's largest solar parks, http://www.pv-magazine.com/2019/06/11/an-overview-of-the-worlds-largest-solar-parks/ (05.05.2020).
11. TEİAŞ, (2020). Türkiye Kurulu Güç Raporu.
12. Pasqualetti, M., Righter, R., Gipe, P., (2004). History of Wind Energy, Encyclopedia of energy, 6, 419-433.
13. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği(TÜREB), (2020). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu.
14. Türkiye Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, (2020). GEPA(Güneş enerjisi potansiyeli atlası).
15. The International Hydropower Association (IHA), (2020). A brief history of hydropower.
16. The International Hydropower Association (IHA), (2019). Hydropower Status Report.
17. Lund, J.W., (2020). History of Geothermal Energy, Encyclopædia Britannica.

18. Muğla Belediyesi, (2019). Güneş Enerjili Menteşe Şehirlerarası Otogarı, https://www.mugla.bel.tr/haber/turkiyeye-ornek-muglaya-yakisan-otogarin-acilisi-yapildi (05.05.2020)

19. İstanbul Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş., (2017). Büyükçekmece Gölü Yüzer Güneş Enerjisi Santrali, https://www.enerji.istanbul/gunes-enerjisi/ (05.05.2020).

20. Antalyaspor, (2019). Çatı Üstü Güneş Enerji Santralli Stadyum. http://www.antalyaspor.com.tr/tr/tesislerimiz/antalyaspor-stadyumu.html (05.05.2020)

21. Baran, V., (2013). Czochralski Tekniğiyle Katkısız ve Sb Katkılı Ge Tek Kristallerinin Büyütülmesi Ve Elektriksel Karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

22. Sharma, D.K., Shakya S.R., (2011). Training Manual For Engineers on Solar PV System, Government of Nepal Ministry of Environment, Science and Technology, Kathmandu, Nepal.

23. Tok, K., (2014). Solar Frontier Teknoloji ve Çözümleri Teknik Doküman.

24. Panasonic Corporation Life Solution Company, (2019). Panasonic Solar HIT Life Solution.

25. Bagher, M.A., Vahid, M.M.A., Mohsen, M., (2015). Types of Solar Cells and Application, American Journal of Optics and Photonics, 3(5), 94-113.

26. Shi, D., Guo, Z., Bedford, N., (2015). Nanoenergy Materials, Micro and Nano Technologies, 255-291.

27. Ustabaş, A., (2014). Mikro ve Makro Etkileri Yönünden Elektrikli Otomobiller (Türkiye Ekonomisi Örneği), Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 36.

28. Lie, T.T., Prasad, K., Ding, N., (2017). The electric vehicle: a review, International Journal of Electric and Hybrid Vehicles, 9, 49.

29. Muratoğlu, Y., Alkaya, A., (2016). Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi İnceleme, Elektrik Mühendisleri Odası(EMO), 458.

30. Maksimovic, D., Zane, R., (2014). Power Electronics for Electric Drive Vehicles Lecture Notes, University of Colorado.

31. Çınar, M., A., Gündoğan, Ç., Kuyumcu, F., E., (2004) Elektrik Tahrikli Taşıtlar İçin Çekiş Kontrol Sistemi Simülasyonu, Elektrik Mühendisleri Odası(EMO).

32. Raustad, R., (2015). EVSE Technology Deployment and the Grid, Electric Vehicle Transportation Center EV Summit, University of Central Florida.

33. Jiang, X., ve diğerleri, (2017). Coordination Dispatch of Electric Vehicles Charging/Discharging and Renewable Energy Resources Power in Microgrid, International Congress of Information and Communication Technology (ICICT), Sanya, Çin.

34. Polat, Ö., ve diğerleri, (2015), Elektrikli Araç Ve Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Güncel Durumu, VI. Energy Efficiency, Quality Symposium and Exhibition, EVK'2015, Kocaeli, Tütkiye.

35. Akshya, S., ve diğerleri, (2017). Grid Integration for Electric Vehicle and Photovoltaic Panel for a Smart Home, Proceedings of IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2017, Kollam, Hindistan.

36. Brenna, M., Longo, M.. Yaïci, W., (2017). Modelling and Simulation of Electric Vehicle Fast Charging Stations Driven by High Speed Railway Systems, Energies, 10(9), 1268.

37. Yağcıtekin, B., Uzunoğlu, M., Karakaş, A., (2016). A new deployment method for electric vehicle charging infrastructure, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 24(3), 1292-1305.

38. GERSAN, (2016) G-Charge Şarj İstasyonu Teknik Dokümanları.

39. International Electrotechnical Commission, (2011). IEC 61851-1 - Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements.

40. Society of Automotive Engineers, (2012). SAE J1772 - Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler.

41. CHAdeMO Association, (2011). Technical specifications of quick charger for the electric vehicle.

42. Kang, H., ve diğerleri, (2019). Techno-economic performance analysis of the smart solar photovoltaic blinds considering the photovoltaic panel type and the solar tracking method, Energy and Buildings, 193, 1-14.

43. DEGERenergie GmbH & Co. KG, (2019). MLD Sensor. https://www.degerenergie.de/en/mld-sensor.html (05.05.2020).

44. Hemza, A., ve diğerleri, (2015). Tracing current-voltage curve of solar panel Based on LabVIEW Arduino Interfacing. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 8(3), 117-123.

45. TMS PV Modules and Solar Systems SL, (2017). Tamesol 320 W Polycrystalline Solar Panel Teknik Dokümanları.

46. ABB Electric, (2018). Power System Equipment Technical Dokümanları, ABB Electric Turkey Publishing.

47. Türk Prysmian Kablo ve Sistemleri A.Ş., (2018). Kablo ve İletkenler Teknik Bilgi Dokümanı.

48. Gürsan Aluminyum, (2017). Aluminyum Ürünler Teknik Doküman.

49. TEDAŞ, (2017). Elektrik Dağıtım Şebekeleri Enerji Kabloları Montaj Usul ve Esasları, Proje ve Tesis Dairesi Başkanlığı.

50. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, (2015). Yüksek Gerilim Tesislerinde Kısa Devre Hesapları.

51. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2001). Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği.

52. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, (2011). Elektrik Kuvvetli Akım Notları.

53. TEDAŞ, (2018). Elektrik Tesisleri Kabul Süreçlerine İlişkin Usul ve Esaslar, Yatırımlar İzleme Daire Başkanlığı Proje ve Kabul Müdürlüğü.

54. Köhler Elektrik Sayaçları San. ve Tic. A.Ş., (2017). Sayaç Teknik Dokümanları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad : Tahsin
Soyad : BOYEKİN
Doğum Tarihi : 02/08/1991
Doğum Yeri : Isparta
İletişim : tahsinboyekin@gmail.com

Eğitim Bilgileri

2020, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı, İstanbul
2015, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul
2009, Mürşide Ermumcu Anadolu Öğretmen Lisesi, Isparta

Akademik Yayınlar

Boyekin T., Kıyak İ., "Rooftop Solar Power Plant Based Electric Vehicle Charging Station", 6. European Conference On Renewable Energy Systems (ECRES), İstanbul, Türkiye, 2018.
Boyekin T., Kıyak İ., "COB LED'lerde Yaşlandırma ve Ömür Tahmini Uygulamalı Analizi", Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Kırklareli, Türkiye, 2018.
Boyekin T., Kıyak İ. & Abdullayev F., "Light Pipe Supported Artificial Intelligence Based Tunnel Lighting", 10. International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education (ICoSReSSE), Roma, İtalya, 2019.

Projeler

Adıyaman, Amasya, Afyon, Balıkesir, Bitlis, Diyarbakır, Isparta, Kastamonu, Malatya, Siirt, Şanlıurfa illerinde her biri 1 MW kurulu güce sahip toplam 240 adet arazi tipi GES (güneş enerjisi santrali) ile İstanbul ilinde 3 adet 20 kW ve 3 adet 50 kW kurulu güce sahip çatı tipi GES'lerin tüm elektriksel projeleri. Bu projelerden toplam 50 MW kurulu güce sahip kısmının kurulumu.