

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANİSA İLİ İÇİN 1 MW GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ FİZİBİLİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat MALTAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet KÜÇÜKER

Ekim 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

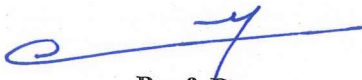
MANİSA İLİ İÇİN 1 MW GÜNEŞ ENERJİSİ
SANTRALİ FİZİBİLİTESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ

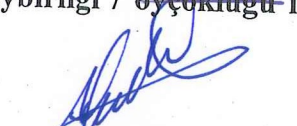
Murat MALTAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 27.10.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Ertan YANIKOĞLU
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
Ahmet KÜÇÜKER
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Aydın MÜHÜRÇÜ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Murat MALTAŞ

27.10.2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet KÜÇÜKER'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamda emeği geçen ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Fevzeddin ÜLKER hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Aileme desteklerinden dolayı ayrıca teşekkür eder ve çalışmanın daha sonra yapılacak çalışmalara yol göstermesini temenni ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
FOTOVOLTAİK HÜCRE VE PANELLER.....	8
2.1. Fotovoltaik Hücrelerin Tarihçesi	8
2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı	11
2.3. Fotovoltaik Paneller	14
2.3.1. Monokristal fotovoltaik paneller	15
2.3.2. Polikristal fotovoltaik paneller	15
2.3.3. İnce film fotovoltaik paneller	16
2.3.4. Amorf silisyum fotovoltaik paneller	16
2.3.5. Bakır indiyum diselenoid fotovoltaik paneller	17
2.3.6. Kadmiyum tellür fotovoltaik paneller	17
2.3.7. Semikristal (Yarı kristal) silisyum fotovoltaik paneller	17
2.3.8. Ribbon silisyum fotovoltaik paneller	17

BÖLÜM 3.

FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİM SİSTEM YAPILARI VE BİLEŞENLERİ.	18
3.1. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....	18
3.1.1. Fotovoltaik panel.....	19
3.1.2. İnvörtör.....	19
3.1.3. Akü.....	21
3.1.4. Fotovoltaik regülatör.....	21
3.1.5. Çift yönlü elektrik sayacı.....	21
3.2. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları	22
3.2.1. Elektrik şebekesine bağlantılı (on-grid) fotovoltaik sistem.....	22
3.2.2. Elektrik şebekesine bağlantısız (off-grid) fotovoltaik sistem..	22
3.2.3. Hibrit bağlı fotovoltaik sistem.....	23
3.3. Elektrik Enerjisi Üretimi Durumları	24

BÖLÜM 4.

MANISA İLİ İÇİN 1 MW GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ FİZİBİLİTESİ.....	25
4.1. PVsyst Yazılımı.....	26
4.1.1. Yazılımın çalışma yöntemi.....	26
4.1.2. Yazılım sonuç ekranı ve kayıplar diyagramı.....	27
4.2. Fizibilite Çalışması Senaryoları.....	30
4.3. Fizibilite Çalışması Simülasyon Sonuçları.....	34
4.4. Güneş Enerji Santrali Ekonomik Analizi.....	37
4.4.1. Yatırım giderleri.....	37
4.4.1.1. Fotovoltaik panel maliyeti	38
4.4.1.2. Solar invertör maliyeti	38
4.4.1.3. Santral sahasında fiziki şartların sağlanması.....	39
4.4.1.4. Santral sahasının arazi bedeli.....	40
4.4.1.5. Proje hazırlanması ve takibi.....	40
4.4.1.6. Şebeke bağlantısı nakil hattı	40
4.4.1.7. Santral güvenliği ve bakım giderleri.....	40
4.4.1.8. Beklenilmeyen giderler	41

4.4.2. Enerji satış gelirleri.....	41
4.4.3. Senaryoların enerji gelirleri.....	43

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ.....	62
------------------------	----

KAYNAKLAR	64
-----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	67
----------------	----



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif Akım
A	: Amper
ÇÖKA	: Çok Ölçütlü Karar Analizi
DC	: Doğru Akım
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FV	: Fotovoltaik
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
Hz	: Hertz
Kg	: Kilogram
kV	: Kilovolt
kW	: Kilowatt
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takipçi
MW	: Megawatt
m	: Metre
PVsynt	: Fotovoltaik Sistem Çalışması
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
V	: Volt
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye ile bazı Avrupa ülkeleri toplam güneş radyasyonu	2
Şekil 1.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası.....	4
Şekil 2.1. Antimon ilave edilmiş N-tipi yarı iletken	10
Şekil 2.2. Bor ilave edilmiş P tipi yarı iletken	10
Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre yapısı.....	11
Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrenin V-I ve P-V karakteristiği.....	11
Şekil 2.5. Sıcaklığın hücre gerilimi ve modül gerilimi üzerindeki etkisi.....	12
Şekil 2.6. Sabit ışınım altında FV panelin farklı sıcaklıklardaki voltaj ve güç değişimi	12
Şekil 2.7. Fotovoltaik hücre eşdeğer devre modeli	13
Şekil 2.8. Monokristal güneş paneli üretim aşamaları	15
Şekil 3.1. FV sistem şeması	18
Şekil 3.2. Solar akü	21
Şekil 3.3. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem	22
Şekil 3.4. Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistem	23
Şekil 3.5. Hibrit fotovoltaik sistem	23
Şekil 4.1. Saruhanlı ilçesi GES arazisi	25
Şekil 4.2. PVsyst programının çalışma mantığı	27
Şekil 4.3. PVsyst programının sonuç ekranı	28
Şekil 4.4. PVsyst programının kayıp diyagramı	29
Şekil 4.5. PVsyst benzetim parametreleri ekranı	31
Şekil 4.6. PVsyst örnek ana sonuç ekranı	32
Şekil 4.7. PVsyst örnek kayıp diyagramı	33
Şekil 4.8. Delta invertör sonuçları	35
Şekil 4.9. ABB invertör sonuçları	36
Şekil 4.9. SMA invertör sonuçları	36

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin aylara ve yıllık güneş toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	3
Tablo 1.2. Bölgesel güneş enerjisi potansiyeli	4
Tablo 3.1. İnvörtör seçimi	20
Tablo 4.1. Fizibilite çalışması senaryoları	30
Tablo 4.2. Tüm senaryolar için enerji üretim değerleri.....	34
Tablo 4.3. Fotovoltaik panel maliyet tablosu	38
Tablo 4.4. Solar invörtör maliyet tablosu	39
Tablo 4.5. Toplam maliyet tablosu	41
Tablo 4.6. Mekanik aksam, invörtör ve yansıtıcının yerli kullanımına fiyat ilavesi.....	42
Tablo 4.7. FV modülün yerli kullanımına fiyat ilavesi	42
Tablo 4.8. FV modülün hücrelerinin yerli kullanımına fiyat ilavesi	43
Tablo 4.9. Delta invörtör Axitec monokristal panel ekonomik değerlendirme....	44
Tablo 4.10. Delta invörtör Axitec polikristal panel ekonomik değerlendirme....	45
Tablo 4.11. Delta invörtör Hanwha monokristal panel ekonomik değerlendirme	46
Tablo 4.12. Delta invörtör Hanwha polikristal panel ekonomik değerlendirme..	47
Tablo 4.13. Delta invörtör Heckert monokristal panel ekonomik değerlendirme	48
Tablo 4.14. Delta invörtör Heckert polikristal panel ekonomik değerlendirme...	49
Tablo 4.15. ABB invörtör Axitec monokristal panel ekonomik değerlendirme...	50
Tablo 4.16. ABB invörtör Axitec polikristal panel ekonomik değerlendirme.....	51
Tablo 4.17. ABB invörtör Hanwha monokristal panel ekonomik değerlendirme	52
Tablo 4.18. ABB invörtör Hanwha polikristal panel ekonomik değerlendirme...	53
Tablo 4.19. ABB invörtör Heckert monokristal panel ekonomik değerlendirme.	54
Tablo 4.20. ABB invörtör Heckert polikristal panel ekonomik değerlendirme...	55
Tablo 4.21. SMA invörtör Axitec monokristal panel ekonomik değerlendirme..	56
Tablo 4.22. SMA invörtör Axitec polikristal panel ekonomik değerlendirme....	57

Tablo 4.23. SMA invertör Hanwha monokristal panel ekonomik değerlendirme	58
Tablo 4.24. SMA invertör Hanwha polikristal panel ekonomik değerlendirme..	59
Tablo 4.25. SMA invertör Heckert monokristal panel ekonomik değerlendirme	60
Tablo 4.26. SMA invertör Heckert polikristal panel ekonomik değerlendirme..	61
Tablo 5.1. Tüm senaryolar için amortisman süreleri.....	62



ÖZET

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi santrali, GES fizibilitesi, GES ekonomik analizi

Enerji talebindeki artış, fosil yakıtların zamanla azalmasına yol açmıştır. Bundan dolayı son yüzyılda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı popüler hale gelmiştir. Ülkemiz, güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi için yer aldığı ekvatorial iklim kuşağının ve coğrafi özelliklerinin katkısıyla Avrupa kıtasındaki İspanya, Almanya gibi ülkelere göre çok daha uygun bir pozisyonda olmasına rağmen yatırım oranı bu ülkelere göre geride kalmıştır. Geçmiş zamana kıyasla ülkemizde yatırımlar artmaya başlamıştır. Bundan dolayı devlet teşvikleriyle de istenilen seviyeye doğru hızla yol almaktadır. 1 MW ve altında enerji üretimini sağlayacak santrallere lisanssız enerji santrali kurulumu izni verilmektedir. Tarım şehri olan Manisa'nın verimsiz ve marjinal arazilerini kullanımıyla Manisa'yı enerji üretimi açısından ülke ekonomisine dâhil etme fikri ileri sürülmüştür. Bu çalışmada, Manisa'da kurulacak 1 MW gücünde bir güneş enerji santralinin farklı panel teknolojileri kullanımı ve invertör seçimleri ile fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. PVSyst yazılımının sunduğu veriler kullanılarak 18 farklı senaryo incelenmiştir.

1 MW SOLAR POWER PLANT FEASIBILITY FOR THE PROVINCE OF MANISA

SUMMARY

Keywords: Solar power plant, SPP feasibility, SPP economic analysis

The increase in energy demand has led to a decline in fossil fuels over time. Hence, the use of renewable energy sources has become popular in the last century. Although our country is in a much more favorable position compared to countries such as Spain and Germany in Europe to be obtained electricity from solar energy with the contribution of the equatorial climate zone and its geographical features, investment rate has get behind according to these countries. Compared to past time, investments in our country have started to increase. Therefore, it is also rapidly moving towards the desired level with government incentives. Power plants that provide 1 MW and below power generation are allowed to install unlicensed power plants. The idea of incorporating into the economy of country to Manisa has been put forward in terms of power generation with using the inefficient and marginal land of Manisa, which is an agricultural city. In this study, a feasibility study has been conducted with the use of different panel technologies and inverter selection of solar energy plant at 1 MW power to be installed in Manisa. 18 different scenarios have been examined using data provided by PVsyst software.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sanayi devrimi ile birlikte ortaya çıkan endüstrileşmenin hızla gelişimi, nüfus sayısı ve insanların kişisel ihtiyaçların artması sonucu enerji tüketiminde artışa sebep olmuştur. Bu bağlamda dünya genelinde ortaya çıkması beklenen enerji tüketimi, 1998 yılındaki verilere göre 2035 yılında enerji tüketiminin iki kat olacağı, 2055 yılında ise üç katı olacağı öngörülmektedir [1].

Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıt tabanlı enerji kaynaklarının kullanımının artması çevreyi ve dolayısıyla insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Fosil kaynakların kullanılması sonucu karbon monoksit (CO) ve kükürt dioksit (SO₂) gazları ortaya çıkmaktadır. CO, vücutta bulunan oksijen miktarını azalmasını sebep olarak ölüme yol açmasını neden olurken SO₂ ise ölüme neden olmaktadır. Diğer bir fosil kaynak olan doğalgaz ise vücudun bağışıklık sisteminin çökmesine neden olmaktadır [1].

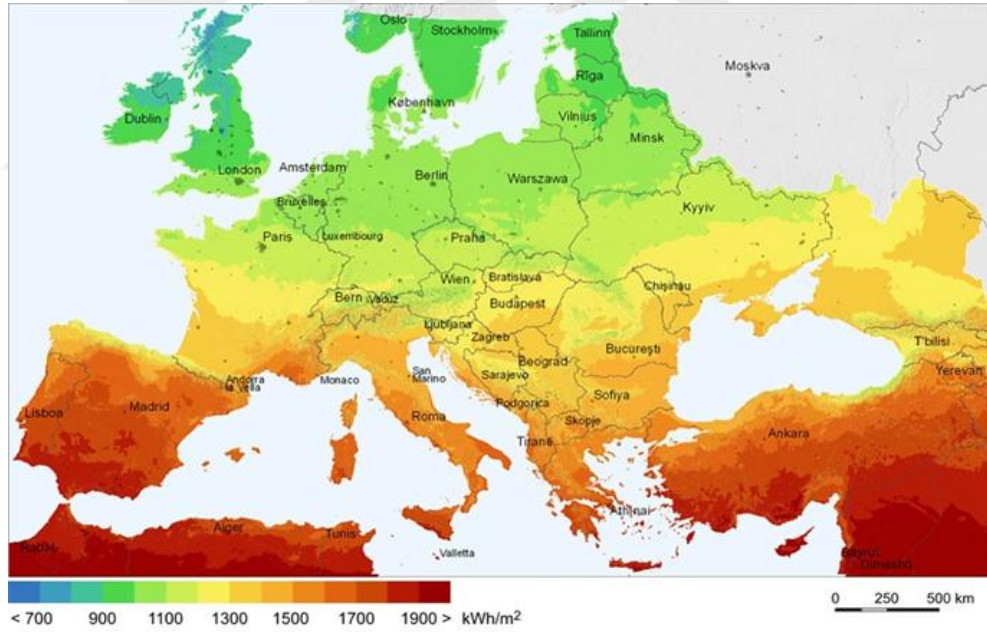
Geleneksel enerji kaynaklarının yakın gelecekte bitecek olması, ülkeleri ve bu ülkeleri ayakta tutan insanlığı, doğa dostu, ulaşılabilir ve tekrar tekrar kullanılabilir yenilenebilir enerji kaynakları arayışına ve kullanımına sevk etmiştir.

Yenilenebilir enerji; hidrolik, rüzgâr, güneş, biokütle, akıntı enerjisi, jeotermal, dalga ve gelgit gibi doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlerinin kullanımı ile ilgili olarak maliyetlerin yüksek olmasından dolayı ülkemizde istenilen ölçülerde yararlanılamamaktadır. Zamanla güneş enerjisi sistemleri konusunda teknolojik gelişmeler gerçekleşmiş ve maliyet azalmaya başlamıştır.

Ülkemiz, yer aldığı ekvatorial iklim kuşağının ve coğrafi özelliklerinin de katkısıyla güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi için Avrupa kıtasındaki İspanya, Almanya gibi ülkelere göre çok daha uygun bir pozisyonda olmasına rağmen yatırım oranı bu ülkelere göre geride kalmıştır. Geçmiş zamana göre yatırımların artmaya başladığı ülkemiz, devlet teşvikleriyle de istenilen seviyeye doğru hızla yol almaktadır.

Elektrik enerji kullanımında 2012 yılı sonu itibari ile güneş enerjisi payının %0,6 olduğu belirtilmiştir. Oldukça düşük olarak görülen bu orana rağmen dünyada büyük çapta fotovoltaik güneş enerji santrali kurulmuştur. Bu gelişmelerin takibinde 2050 yılında dünya enerji tüketiminin %15'inin güneşten sağlanması hedeflenmektedir [2].

Türkiye ve bazı Avrupa ülkelerinin toplam güneş radyasyonu Şekil 1.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye ile bazı Avrupa ülkeleri toplam güneş radyasyonu [3].

Ülkemizin, yıllık toplam güneşlenme süresinin 2,737 saat (günlük toplam 7,5 saat) ve yıllık toplam gelen güneş enerjisinin 1,527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerinden elde edilebilmektedir. Ayrıca ülkemizde 2016 Eylül ayı sonu itibarıyla toplam kurulu gücü 660,2 MW olan 861 güneş enerjisi santrali bulunmaktadır [4].

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı Tablo 1.1. ile verilmektedir.

Tablo 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin aylara ve yıllık güneş toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [4].

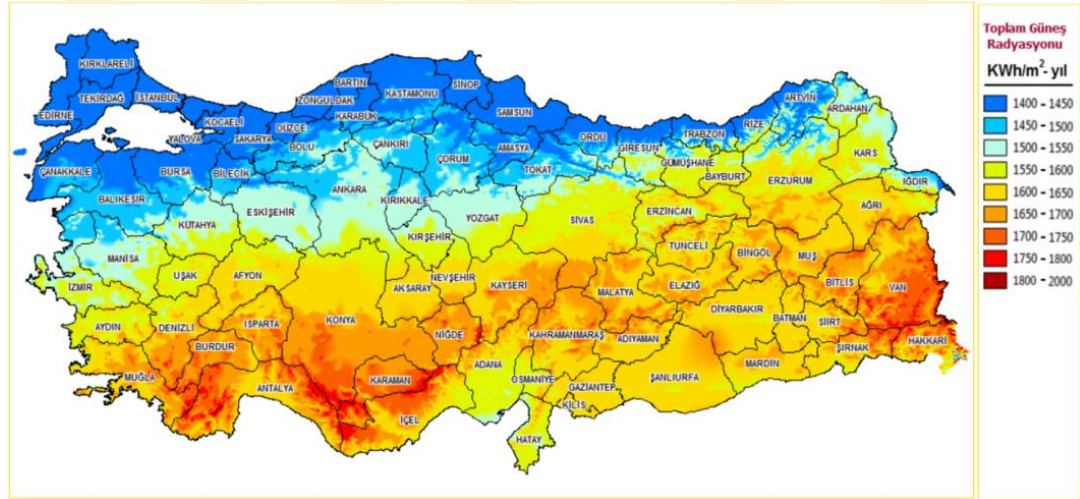
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Aylar (Saat/ay)
Ocak	51,75	103
Şubat	63,27	115
Mart	86,65	165
Nisan	122,23	197
Mayıs	153,86	273
Haziran	168,75	325
Temmuz	175,38	365
Ağustos	158,4	343
Eylül	123,28	280
Ekim	89,9	214
Kasım	60,82	157
Aralık	46,87	103
Toplam	1311	2640
Ortalama	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Ülkemizde güneş enerjisinin aylara göre farklılık göstermesinin yanısıra bölgesel farklılıklarda bulunmaktadır. Tablo 1.2.'de bölgesel güneşlenme enerjileri ve toplam yıllık güneşlenme süreleri verilmektedir.

Tablo 1.2. Bölgesel güneş enerjisi potansiyeli [4].

Bölge	Yıllık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Bölge (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2965
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi olmakla birlikte Akdeniz Bölgesi bunu takip etmektedir. Karadeniz Bölgesi ise en az güneş alan bölgedir. Şekil 1.2.'de renklendirme yöntemiyle ülke geneli enerji haritası yer almaktadır.



Şekil 1.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası [4].

Güneş enerjisi fizibilite çalışması konusunda ülkemizde ve dünyada birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretimi değerlendirilerek ekonomik analizi gerçekleştirilmiş ve bu çalışmada Karaman bölgesi güneş enerjisi verimliliği incelenerek farklı senaryolarla en uygun lisans üretim gerçekleşmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Güneş takip sisteminin var olması verimi arttırırken diğer yandan maliyetini de oldukça arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır [5].

Konya ilimizde kurulması düşünülen güneş enerjisi santral alanlarının seçimi ile ilgili bir diğer çalışmada Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemiyle karar verilmesi incelenmiştir. Güneş enerjisi alanında büyük potansiyel bulunan ülkemizde uygun yer seçimi için katkıda bulunulmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak Konya ilinde uygun kriterde alanlar tespit edilmiştir [6].

Türkiye'nin farklı bölgelerinde kurulabilecek fotovoltaik santrallerin teknik ve ekonomik açıdan incelenmesini sağlayacak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz bölgelerinde kurulacak fotovoltaik santrallerin yıllık kWp/kWh enerji üretimlerinin en yüksek değerde olduğu, Karadeniz, Doğu Anadolu bölgelerinde kurulacak fotovoltaik santrallerin ise performans oranlarının yüksek ancak kWp/kWh enerji üretim değerlerinin düşük olduğu sonuçlarına varılmıştır [7].

Dünyada ve ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üreten sistemler ve bu sistemleri üreten firmalar hakkında araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Firmaların enerji piyasasına yönelik bakış açıları incelenmiştir. Güneşten elektrik eldesine yönelik yatırım faaliyetlerinin mutlaka artırılması gerekmekte olduğu ve devlet teşvikinin de iyileştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır [8].

Türkiye şartlarında dört kişilik bir evin elektrik ihtiyacını karşılayacak on-grid ve off-grid sistemlerin farklı senaryolar kullanılarak incelendiği bir çalışmada off-grid sistemin kurulumunun on-grid sisteme göre daha maliyetli olduğu ve eksen takipli sistemin sabit montajlı sistemden daha maliyetli olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır [9].

Fotovoltaik santrallerin Türkiye'deki farklı iller için verimlilik, finansal performansları ve yatırım getirilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada Sakarya ve Gaziantep arasında getiri bakımından gözle görülür şekilde performans farkının olduğu sonucuna varılmıştır [10].

Fotovoltaik enerjinin evlerde kullanılmasına yönelik çalışmasında farklı ülkelerde yapılan çalışmalar da irdelenmiştir. Yurt dışındaki yenilikler ülkemizin yedi farklı bölgesi göz önüne alınarak daha uygun nasıl uygulanabilir yaklaşımı sunulmuştur [11].

Taşınabilir takip sistemli fotovoltaik panel tasarlanan ve uygulaması gerçekleştirilen diğer bir çalışmada teori ve uygulama sonucu ortaya çıkan sonuçların uyuşmamasında en büyük etkeninin sıcaklık olduğu sonucuna ulaşılmıştır [12].

Monokristal, polikristal ve ince film fotovoltaik panellerin Karabük ilindeki verimlilikleri incelenmiştir. Batı Karadeniz bölgesinde karakteristiği ortaya çıkarılarak bölgeye uygun fotovoltaik panel belirlenmeye çalışılmıştır. Monokristal ve ince film fotovoltaik panellerin verimleri düşerken, polikristal panelin verimi %21'lere ulaştığı gözlenmiştir. Uygun panel türü de polikristal olarak belirlenmiştir [13].

Ülkemizin tüm coğrafi bölgelerinden ışıma değerleri dikkate alınarak değerlendirilmeler yapılan ve çok büyük fark olmadığı gözlemlenen diğer bir çalışmada ise ülke genelinde güneş enerjisinin kullanılabilir olduğu kanısına varılmıştır [14].

Gana'da büyük ölçekli güneş enerjisi projesinin fizibilitesi ve ekonomik analizi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Gana'da kurulabilecek güneş santralinin analizi yapılmış olup teknik bilgilere yer verilmiştir. Sistemin amortisman süreleriyle ilgili çalışma yapılmış olup, sistemin amortisman süresinin 7 yıl gibi bir süreç aldığı sonucuna varılmıştır [15].

Kenya’da fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve fizibilitesi ile ilgili diğer bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada akülü sistemlerde, sistem gücü arttıkça enerji depolama maliyetinin çok fazla arttığına değinilmiştir. Çalışmanın içerisinde, reflektörler kullanılarak sistem verimi incelemiş ve verimde yüzde 60 civarında artış söz konusu olmuştur. Aynı verim artışını sağlayacak ilave paneller kullanılması durumunda, reflektörlü sistemin yüzde 50 daha az maliyetli olduğu saptanmıştır [16].

Manisa’nın güneşlenmesi süresinin yüksek olması, halkın ekonomik durumunun yatırıma uygun olması ve güneş santrallerinin ekonomik getirisinin cazip olması sebebiyle artan santral taleplerine yol gösterici olması düşüncesiyle Manisa İlinde 1 MW güneş enerjisi santrali kurulumunun fizibilitesinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Fotovoltaik santralde önemli ana değişkenler paneller ve invertörlerdir. Bu alışmada, Manisa ilinde kurulabilecek santral için kullanılabilir panel teknolojisi ve invertörlerin verim durumları değişimine göre enerji üretim değişimleri ve bunun yanı sıra sistemi oluşturacak malzemelerin tümünün yerli olması ve tümünün ithal olması durumunda sistemin amortisman sürelerinin farkları incelenmiştir.

BÖLÜM 2. FOTOVOLTAİK HÜCRE VE PANELLER

2.1. Fotovoltaik Hücrelerin Tarihçesi

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, güneş pili içerisinde yer alan diyotların güneş ışığı ile teması sonucu oluşmaktadır. Bu dönüşüm gerçekleşmesinde herhangi bir hareketli düzeneğin katkısı bulunmamaktadır. Alessandra Volt'tan esinlenerek elde edilen voltaj kelimesi ve Yunanca'da ışık anlamındaki "photo" kelimesinin birleşmesiyle "photovoltaic" ismi meydana gelmiş ve türkçede fotovoltaik adını almıştır [17].

Fotovoltaik olaya dayanan enerji dönüşümü ilk kez 1839 yılında Becquerel tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma mantığı; elektrotlar, elektrolit içerisine katılması sonucu elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerinde oluşan ışığa olan bağımlılığı prensibine dayanır. Aynı şekilde katılarda, ilk kez 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından selenyum kristalleri üzerinde inceleme yapılmıştır. FV diyotların enerji verimliliği 1914 yılında %1 değerlerinde olmasına rağmen pratikte ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından %6 verim değerine sahip şekilde güneş enerjisinden elektrik enerjisi dönüşümünü sağlayan silikon kristali üzerinde gerçekleştirilen FV'ler gerçekleştirilmiştir [18].

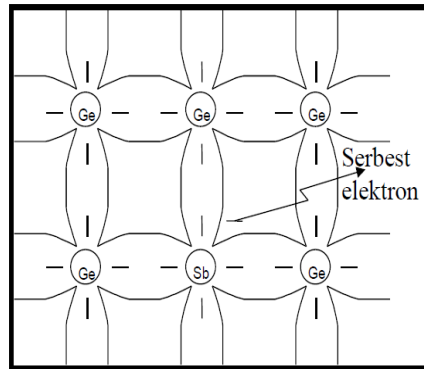
1954 yıllarında dünyada enerji kaynağı olarak kullanımı ile ilgili gerçekleştirilmesine yönelik yapılan araştırmalar başlamasına rağmen, asıl popüleritesinin artışı 1973 yıllarında başlamıştır. Bu bağlamda dünyada geniş çaplı araştırmalar gerçekleştirilirken diğer yandan FV'lerin verimliliğini artırmak için çalışmalar yapılmış ve ek olarak daha küçük yarı iletken malzemeye olan ihtiyaç ve bununla birlikte ekonomik olarak üretimi olabilecek ince film güneş pili üzerinde çalışmalar yapılmıştır [18].

2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı

Fotovoltaik malzeme yapımında, çoğunlukla silisyum (1.1eV) ve galyum arsenit (GaAs-1.43eV), kadmiyum tellür (CdTe) gibi anorganik yarı iletken malzemeler kullanılır. Fotovoltaik malzeme P ve N tipi yarı iletken malzemelerin birleşiminden meydana gelir. P ve N tipi madde; yarı iletkenlere belirli miktarda katkı maddesi eklenerek elde edilir [19].

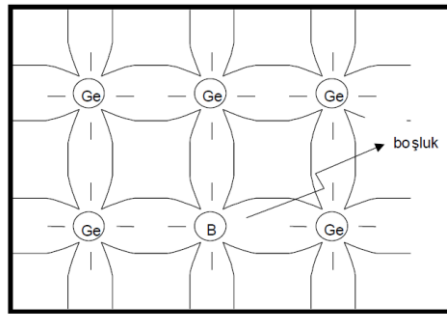
Katkılama işlemi, çözelti halindeki saf yarı iletken maddenin içine istenilen katkı maddelerin eklenmesiyle gerçekleşir. Sonunda oluşan yarı iletken yapının N, P ya da PN tipinde olması katkı maddesine bağlıdır.

Fotovoltaik malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan Silisyum ya da Germanyum'dan N tipi yarı iletken elde etmek için Silisyum/Germanyum çözeltisine Bizmut ya da Arsenik gibi periyodik cetvelin 5A grubunda bulunan bir element, eklenir. Silisyum/Germanyum'un dış yörüngesinde 4 elektron, Bizmut/Antimon'un dış yörüngesinde 5 elektron bulunduğu için, Bizmut/Antimon'un, fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle 5A grubu elementlerine verici veya N tipi katkı maddesi denir. Yarı iletken içerisinde taşıyıcı yük sayısı bakımından fazla olana çoğunluk taşıyıcı, az olana ise azınlık taşıyıcı olarak isimlendirilmektedir. N tipi yarı iletken içerisinde çoğunluktaki taşıyıcısı elektron, azınlıktaki taşıyıcı ise deliklerdir [20]. Şekil 2.1.'de Antimon ilave edilmiş N-tipi yarı iletken gösterilmektedir.



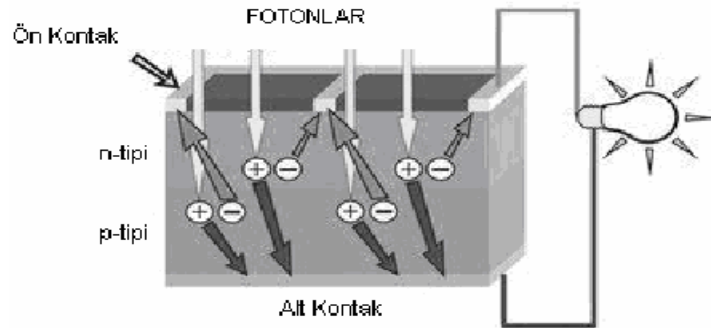
Şekil 2.1. Antimon ilave edilmiş N-tipi yarı iletken [21].

Bor ilave edilmiş P tipi yarı iletken, 5A grubuna ait 3 valans elektronlu malzemeler çözeltili halindeki germanyuma katılarak gerçekleştirilir. Katılma ile kristal örgü içerisindeki bulunan Ge atomunun yerini bor atomları alır. 3 elektron bulunduran kovalent bağ, komşu atomlardan bir elektron kopararak bağ oluşumunu gerçekleştirir. Komşu atomda bir boşluk oluşması, elektronun hareket etmesine neden olmuştur. Aktivasyon enerjisinin artması sonucu yarı iletkenin kullanımını sağlayacak maksimum sıcaklıkta artışa neden olur [21]. Şekil 2.2.'de Bor ilave edilmiş P-tipi yarı iletken gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Bor ilave edilmiş P tipi yarı iletken [21].

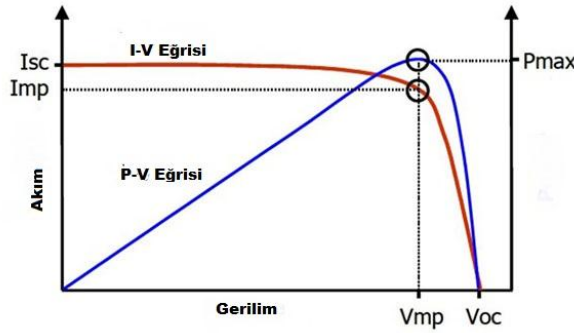
Yarı iletken yapı, çoğunluk sayıda bulunan elektronların oluşturduğu yük taşıyıcıları N tipi bölge ile çoğunluk sayıda bulunan deliklerin oluşturduğu yük taşıyıcıları P tipi bölgenin yan yana getirilmesi ile oluşur. Işık enerjisinin yarı iletken üzerine düşmesi dış devreden akım akmasına yol açmaktadır. Şekil 2.3.'te fotovoltaik hücre yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre yapısı [18].

P-N yarı iletkenin birleşme kısmında elektronlar, P tipi bölgeye geçerek elektron eksikliği olan kısımlara yerleşerek negatif iyonlar oluşturması ve aynı şekilde N tipi bölgede ise pozitif iyonların oluşmasına yol açacaktır. Sonrasında P-N yarı iletkenin orta kısmında (+) ve (-) iyonların oluşturduğu bölgeye elektron koparabilecek yeterli enerjiye sahip foton düşmesi durumunda koparılan elektronun P tipi bölgeye geçmesi ve dolayısı ile akım yönünün P bölgesinden N bölgesine doğru taşınması sağlanır [18].

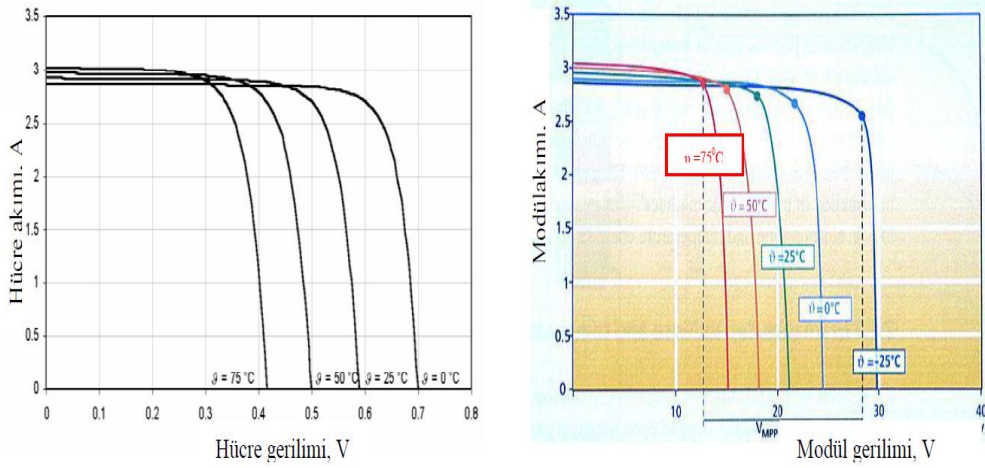
Şekil 2.4'te görüldüğü gibi açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) göze çarpmaktadır. Açık devre gerilimi, akımın sıfır olduğu noktadaki maksimum devre gerilimi (V_{mpp}), kısa devre akımı ise gerilimin sıfır olduğu noktadaki maksimum devre akımı (I_{mpp})'dir. Akım - gerilim ve güç - gerilim eğrileri Şekil 2.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrenin V-I ve P-V karakteristiği [22].

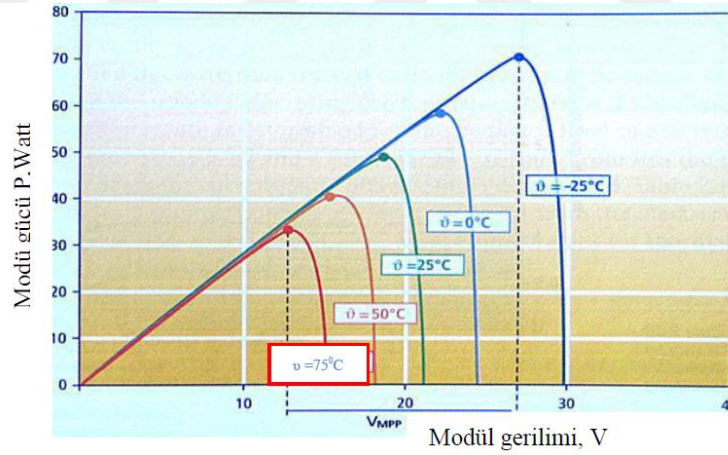
Bir FV hücrenin üreteceği güç, üzerine düşen ışık enerjisiyle doğru orantılıdır. Işık şiddeti arttıkça güç de artar. Bir hücrenin ya da panelin üretebileceği maksimum güç tepe gücü olarak bilinmektedir. Birimi Watt-peak'tır [23].

Çalışma sıcaklığının artması hücrenin ya da panelin çıkış gerilimini olumsuz biçimde etkilemektedir. Dolayısı ile FV hücreler için soğuk ortamlar daha ideal ve verimlidir. Şekil 2.5.'te sıcaklığın hücre gerilimi ve modül gerilimi üzerindeki etkisi gösterilmektedir [18, 24].



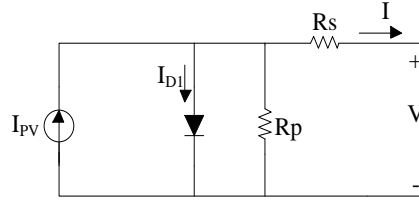
Şekil 2.5. Sıcaklığın hücre gerilimi ve modül gerilimindeki üzerindeki etkisi [21].

Her 1°C sıcaklık artışı, elde edilen gücü %0.2 - %0.5 oranında azaltmaktadır. FV modülün üretim veri tablolarında bu grafikler yer almaktadır. Şekil 2.6.'da sabit ışınım altında FV panelin farklı sıcaklıklardaki voltaj ve güç değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Sabit ışınım altında FV panelin farklı sıcaklıklardaki voltaj ve güç değişimi [21].

İhmaller dikkate alınarak FV hücre eşdeğer devre modeli; Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı direnç ile diyot ve oluşan yapıya seri bağlı bir direnç ile modellenir [25].



Şekil 2.7. Fotovoltaik hücre eşdeğer devre modeli

FV hücre eşdeğer devre modelinde, I_{pv} güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımını, I_{D1} diyot akımını, I yük akımını R_s seri direnç değerini, R_p paralel direnç değerini göstermektedir. Fotovoltaik hücrede oluşan elektrik akımı (Denklem 2.1)'deki gibi ifade edilir [25].

$$I_{pv} = (I_{sc} + K_i * (T - T_{ref})) * \left(\frac{\lambda}{1000}\right) \quad (1.1)$$

Burada λ ışınımı, I_{sc} fotovoltaik hücrenin $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kısa devre akımını, K_i fotovoltaik hücrenin kısa devre akımı sıcaklık sabitini ve T ise fotovoltaik hücrenin Kelvin olarak çalışma sıcaklığını gösterir. (Denklem 2.2)'de ise ters doyum akımı I_{rs} verilmiştir. Burada V_{oc} fotovoltaik hücrenin açık devre gerilimini, N_s fotovoltaik hücrenin modülündeki seri modül sayısını, k Boltzman sabitini, q elektron yükünü, A ise fotovoltaik hücrede kullanılan malzemeye göre ideallik katsayısını ifade etmektedir [25].

$$I_{rs} = I_{sc} / \left(e^{\left(\frac{q * V_{oc}}{N_s * k * A * T}\right)} - 1 \right) \quad (1.2)$$

FV hücresinin sıcaklık değeri ile doyum akımının değeri değişir. Doyum akımı (Denklem 2.3)'te verilmiştir. Burada T_{ref} fotovoltaik hücrenin referans sıcaklığını, E_g fotovoltaik hücrede kullanılan yarı iletkenin band aralığı enerjisini, q ise elektron yükünü belirtmektedir [25].

$$I_s = I_{rs} * \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 * e^{\frac{(q.Eg)}{A*k*\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)}} \quad (1.3)$$

Dolayısı ile I akımı (Denklem 2.4)'teki gibi elde edilir.

$$I = I_{pv} - I_s * \left[e^{\frac{(q(V+I*Rs))}{A*k*T}} - 1 \right] - \frac{V+I*Rs}{R_p} \quad (1.4)$$

2.3. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik panel teknolojisinde kullanılan madde ve yapım türü açısından çok çeşitlidir. Fotovoltaik panel için malzeme seçimindeki özen üretilen güneş hücrelerinin hem ekonomik, hem de yüksek verimli olması yönünden büyük önem arz etmektedir.

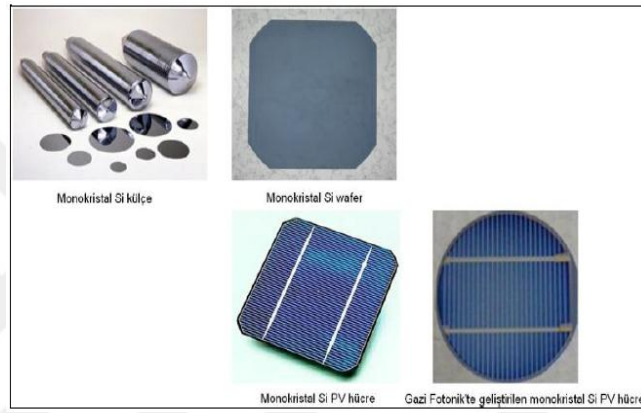
Silisyum, fotovoltaik panel üretiminde en yaygın kullanılan malzemedir. Fotovoltaik panel; mono-polikristal veya ince film tabakadan elde edilebilir. Dilimlenmiş kalın kristal malzemedен ya da bir taşıyıcı üzerinde oluşturulmuş çoklu kristal ya da ince film tabakalarından üretilmektedir. Fotovoltaik panel üretiminde kullanılan başlıca malzemeler şunlardır [2];

- Kalın kristal malzeme: Kristal silisyum, galyum arsenik
- İnce film malzeme: Amorf silisyum, kadmiyum sülfür, kadmiyum tellür, bakır indium diselenoid

Elektronik teknolojisinde çok büyük bir yeri olan silisyum (Si), fotovoltaik panellerde en çok tercih edilen malzemedir. Silisyumun özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisindeki ilerlemeler ve doğada bol bulunması bu malzemeyi oldukça popüler kılmaktadır [13].

2.3.1. Monokristal fotovoltaik paneller

Monokristal silisyum güneş panelleri, laboratuvar koşullarında %24 verim sağlamaktadır. Ticari modüllerde ise verim %15 ile %18 arasında değişmektedir. Verimlerinin yüksek olmasından dolayı uzun vadeli yatırımlarda idealdir. Maliyetini amortisman süresi 4-6 yıldır. 20 yıllık bir sürede %7 verim kayıpları ile karşılaşılır. Saf kristal gereksinimi yüzünden maliyeti yüksektir [18]. Şekil 2.8.'de monokristal panelin üretim aşamalarının görselleri yer almaktadır.



Şekil 2.8. Monokristal güneş paneli üretim aşamaları [18].

Ticari şekilde kullanımı sağlanan ilk FV panellerde tek kristal yapıda bulunan silisyumlar kullanılmıştır. Üretim sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu panellerin üretim maliyetini arttırmış ve diğer panellerin kullanımına yönlendirmiştir [13].

2.3.2. Polikristal fotovoltaik paneller

Polikristal silisyumun üretilmesinde en çok kullanılan yöntem dökme yöntemidir. Monokristal silisyumda da, polikristal silisyumda da başlangıç maddesi aynıdır. Her ikisinde de istenilen saflık aynıdır. Çözelti haldeki silisyum, kalıplara dökülüp soğumaya bırakılır. Ardından elde edilen yapı, bloklara ayrılır ve böylece döküm tekniğiyle polikristal silisyum elde edilmiş olur [13].

Monokristal veya polikristal silisyum fotovoltaik panellerin verimlilikleri ve kararlılıkları göz önüne alındığında zamanla geliştiği gözlenmiştir. Üretim süreçleri monokristallere göre ucuzdur. Polikristal silisyum fotovoltaik panellerden laboratuvar koşullarında %18 verim, ticari modüllerde ise %14 civarında verimler elde edilmektedir [26].

2.3.3. İnce film fotovoltaik paneller

Bu üretim tekniğinde, absorbe edici özelliği olan maddeler kullanılarak daha az kalınlıkta fotovoltaik paneller yapımı sağlanmaktadır. Örnek olarak amorf silisyum FV panellerin absorpsiyon katsayısı kristal silisyum fotovoltaik panellere göre daha fazladır [18].

İnce film teknolojisinin gelişmesiyle üretim maliyetlerinin düşmesi hedeflenmiştir. Düşük maliyetle üretilmelerine rağmen verimlerin %7 ile %14 arasında olduğu görülmüştür. Bu da yaygınlaşmasının önündeki en büyük problemdir. Pazar payının sadece %7'sini teşkil etmektedir. Fakat laboratuvar koşullarında verim artışı üzerinde çalışılmaktadır. Diğer yandan uzay ve uydu uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Beklenmeyen şekilde atmosfer dışında, verimlerinin %28 ile %30 olduğu gözlenmiştir [26].

2.3.4. Amorf silisyum fotovoltaik paneller

Amorf silisyum fotovoltaik paneller; ince film fotovoltaik panel üretiminin en önemli temsilcilerinden biridir. İlk kez Schottky yapısında gerçekleştirilen bu panel türü, zamanla yerini p-i-n yapılarına yerini bırakmıştır. Bu panel türünün verim değerleri %5 - %8 arasında değişmektedir. Dezavantajı ise kısa süre içerisinde deformasyona uğraması sonucu istenilen verimin sağlanamamasıdır [18].

2.3.5. Bakır indiyum diselenid fotovoltaik paneller

Bu panel türü içerisinde bakır indiyum ve selenyum barındırmaktadır. Üç tane farklı maddenin bileşik özelliğinden dolayı bileşik yarı iletkenle başlayan fotovoltaik paneller olarak bilinmektedir. Laboratuvar ortamında verimlerinin %18 civarlarında olmasına karşın 900 cm² yüzey alana sahip modüllerinde verimlerinin %15 civarlarında olduğu bilinmektedir [18].

2.3.6. Kadmiyum tellür fotovoltaik paneller

Oda sıcaklığında yasak enerji aralığı 1,5 eV olan Kadmiyum tellür, yüksek soğurma katsayısı ve ince film büyütme teknolojisi ile birlikte geniş yüzey alanlı fotovoltaik panel üretiminde CdTe malzemesi önde yer almaktadır. Genellikle CdTe ile CdS birlikte kullanımı ile heteroeklem diyot üretiminde kullanımı sağlanmaktadır. CdTe fotovoltaik paneller cm²'de %17'lik, 8390 cm²'de %11'lik bir verime ulaşmıştır. Üretim maliyeti düşüktür. Yalnız rijit cam ile kullanılabilir [27].

2.3.7. Semikristal (Yarı kristal) silisyum fotovoltaik paneller

Bu paneller, sıvı silisyumun soğutulmasıyla elde edilen kümelenmiş küçük silisyum kristallerden oluşur. Bu panellerin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır [18].

2.3.8. Ribbon silisyum fotovoltaik paneller

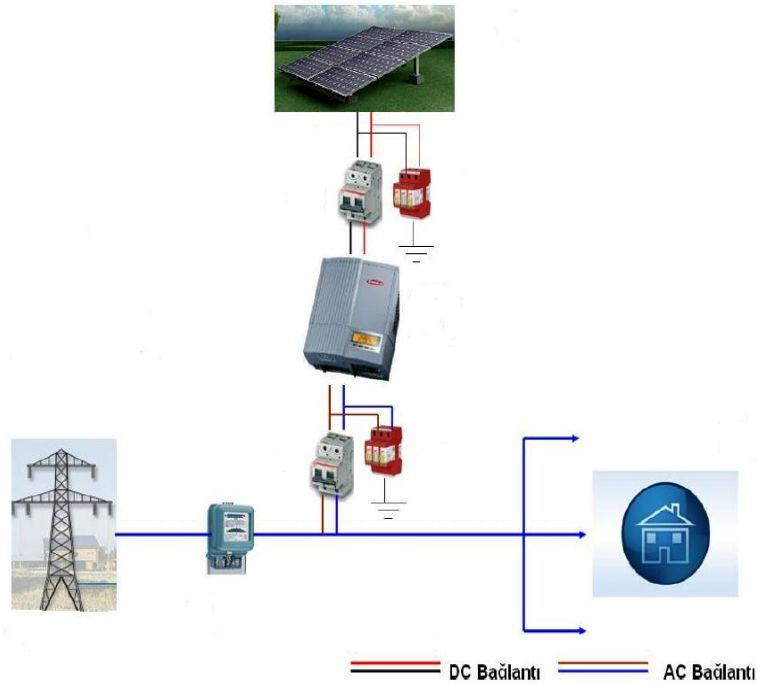
Bu paneller, malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha şeklinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Geliştirme aşamasında olan bu panel türlerin verim değerleri laboratuvar koşullarında %13 - %14 değerlerinde değişmektedir [18].

BÖLÜM 3. FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİM SİSTEM YAPILARI VE BİLEŞENLERİ

3.1. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Fotovoltaik panellerde enerji DC şeklinde üretilir. Şebekeye bağlı sistemlerde DC-AC dönüşümü gerçekleştirmek gerekir. Bu sebeple FV sistem içerisinde DC-AC dönüşüm sağlayan donanımların yer alması gerekir. Bunun yanında kullanılan cihazların ve kabloların güvenliği içinde kullanılan devre elemanları mevcuttur.

Fotovoltaik sistemlerde uygulamaya bağlı olarak akümülatör, invertör, şarj denetim cihazı, sayaç, DC-AC parafudr ve yükler bulunmaktadır. Şekil 3.1.'de FV sistem şeması, sistemi oluşturan parçalarıyla birlikte ayrıntılı olarak yer almaktadır.



Şekil 3.1. FV sistem şeması [5].

3.1.1. Fotovoltaik panel

Güneş enerjisini DC olarak elektrik enerjisine çevirmesi için kullanılan sistemlerdir. Fotovoltaik panel, yapısal olarak fotovoltaik panellerin seri veya paralel olarak birleştirilmesiyle oluşturulur. Standart ölçüleri 100 x 100, 125 x 125 ya da 156 x 156 mm²'lik boyutlarda üretilirler. Kalınlıkları 0,2 - 0,4 mm'dir. Kristal yapıdaki paneller, sistemi gerilim değeri 12 V ya da 24 V DC besleyecek şekilde üretilirler. 12V panellerde gerilim 17 V_{max} - 22 V_{oc}, 24 V sistemlerde ortalama olarak 33 V_{max}-44 V_{oc}'dir.

3.1.2. İnvörtör

Sistemin ana parçalarından biridir. Düşük güçteki gerilimi 12-24 DC Volt olan doğru akımı 220 V AC 60 Hz olan şebeke gerilimine dönüştürürler.

FV sistem için seçilecek olan invertörler, şebeke parametrelerini temel alarak panellerde üretilen enerjiyi yüksek verimde çevrimini gerçekleştirip uzun süreler çalışmaya uygun olmalıdır. İnvörtörün sahip olduğu MPPT özelliği ile panelin değişken voltaj - akım çarpımını sürekli maksimum düzeyde tutarak, güç çıkışını maksimize edecektir. Bu noktada FV sistemler için uygun invertör seçimi oldukça önem kazanmaktadır [29].

FV sistemlerde kullanılan invertörleri şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Şebeke bağlantısız (off - grid) invertörler akü gruplarıyla yükler arasında güç çevrimi gerçekleştirirken, şebeke bağlantılı (on - grid) invertörler ise şebekenin gerilim ve frekansına göre şebeke beslemesini gerçekleştirir.

Şebeke bağlantılı invertörler uygulama alanlarına göre dizi ve merkezi olarak ikiye ayrılır. İnvörtör seçiminde birçok parametre değerlendirilmek durumundadır [29].

Burada 3 temel seçim ölçütü öne çıkmaktadır;

- Kurulacak fotovoltaik sistemin gücü

- Kurulum yüzeyinin durumu
- Fotovoltaik sistemin hangi bölgede kurulduğu

Belirtilen ölçütlere göre FV sistem için;

Tablo 3.1.'deki değerlere göre invertör seçimi yapılmaktadır.

Tablo 3.1. İnvörtör seçimi

Özellikler	Dizi İnvörtör	Merkezi İnvörtör
Güç aralıkları	2 – 33kW	100 – 2000kW
AC V aralıkları	230 – 400V	350,400,690V

Dizi invertörler, izin verilen gerilim değerine kadar panellerin seri bağlanabildiği bir yapıdır ve her bir FV dizinin doğrudan invertöre bağlantısıyla oluşturulan sistemlerin invertörüdür [29].

Küçük çaplı işletmelerde 230 V tek fazlı olması durumunda 2 - 5 kW arasında üretim sağlanırken, 400 V üç fazlı olması durumunda ise 5 kW üstünde üretim sağlanmaktadır. Endüstriyel ve santral sistemlerde MW seviyelerine ulaşmak için 30 - 33 kW AC çıkış gücündeki dizi invertörler kullanılır. Sistem güvenliği için DC ve AC koruma elemanlarıyla birlikte üretilen paket dizi invertör çözümleri bulunmaktadır [29].

Merkezi invertör prensibi diğer invertör tiplerinden farklı olarak panellerin invertör öncesinde DC korumanın yapıldığı bağlantı kutularında birleştirildikten sonra invertöre bağlantının yapıldığı sistemlerdir. Merkezi invertörler diğer invertör tiplerine göre daha büyük panel gruplarını tek merkezden yönetmektedir. Genel olarak merkezi invertörlerin alçak gerilim voltaj değerleri normal dağıtım trafolarının 400 V değerlerinden farklı olup 300 V, 350 V, 400 V ve 690 V biçiminde üretilmektedir. Merkezi invertör çıkışından sonra merkezi invertörün alçak gerilim voltaj seviyesine göre üretilmiş trafodan geçerek yüksek gerilim şebekesine 33 kV - 34,5 kV seviyesinden bağlantısı yapılır.

3.1.3. Akü

Şebeke bağlantısı olmayan (off -grid) sistem tasarımlarında kullanılırlar. Enerjiyi kimyasal olarak depolayan elektrokimyasal bir cihazdır. Herhangi bir elektrik devresine monte edildiğinde, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür.

Yaygın olarak kuru ve jel türünde akü kullanımı gerçekleştirilmektedir. Uzun ömürlü akü olması için doluluk oranı %50'den az olması durumunda şarj edilmelidir. Şekil 3.2.'de örnek bir solar akü yer almaktadır.



Şekil 3.2. Solar akü

3.1.4. Fotovoltaik regülatör

Şebeke bağlantısı olmayan (off grid) sistem tasarımlarında kullanılırlar. İlgili sistemden akülere düzenli şekilde gelen elektrik akımının gelmesi sağlanmaktadır. Bu cihaz sayesinde bataryalarda aşırı yüklenme ve aşırı boşalma olmasına engel olunur. Bununla birlikte solar regülatörler, aşırı akımlara karşı da özellikle bağlandığı cihazlarda koruma görevini üstlenir.

3.1.5. Çift yönlü elektrik sayacı

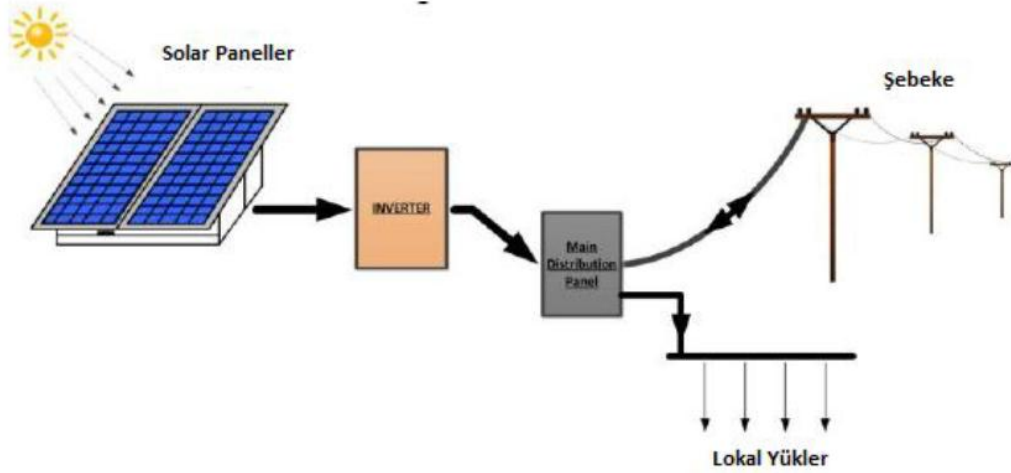
Elektrik şebekesinden kullanılan elektrik enerjisini ve üretildikten sonra şebekeye gönderilen elektrik enerjisini ölçer. Diğer sayaçlardan ayrılan en önemli özelliği isminden de anlaşılacağı üzere çift yönlü okuma yapabilmesidir. Eğer şebekeden kullanılındandan fazla elektrik üretilmişse dağıtım şirketinden alacaklı duruma geçilir.

3.2. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları

Fotovoltaik sistemlerde dizayn edilen yapının mevcut elektrik şebekesiyle bağlantılı olup olmamasına göre üç grupta incelenebilir.

3.2.1. Elektrik şebekesine bağlantılı (on - grid) fotovoltaik sistem

Herhangi bir depolama alt yapısı olmadan direkt olarak şebekeye bağlı olarak çalışan sistemdir. Üretildiği anda tüketilmesi gerekmektedir. Üretilen elektrik enerjisi iç ihtiyaç olarak tüketilebildiği gibi direkt olarak şebeke beslemesi de yapılabilmektedir. Şekil 3.3.'te elektrik şebekesine bağlı fotovoltaik bir sistemin görseli yer almaktadır.

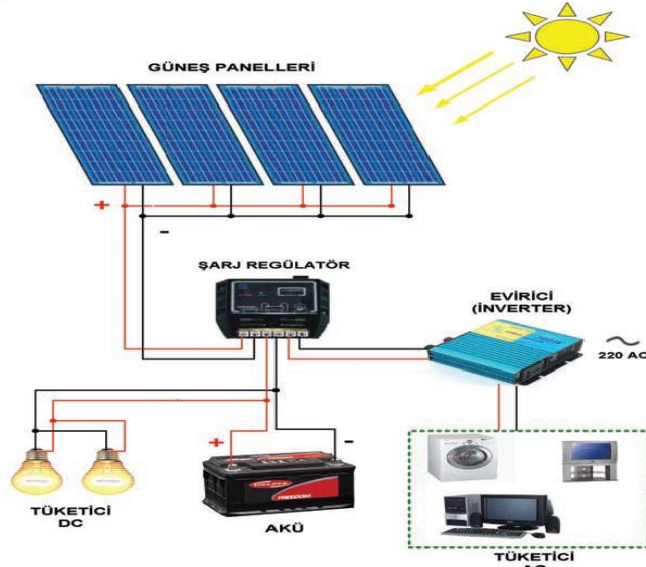


Şekil 3.3. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem [10].

3.2.2. Elektrik şebekesine bağlantısız (off - grid) fotovoltaik sistem

Mevcut elektrik şebekesiyle herhangi bir bağlantısı olmayan sistemlerdir. Elektrik şebekesinin mevcut olmadığı yerlerde sıkça karşılaşılr. Diğer bir adı da “Ada Tipi Sistem” olarak literatürde yer almaktadır. Bu sistemde üretilen enerji iç ihtiyaç olarak kullanılmaktadır. Aküler bulunmakta ve bu aküler sayesinde enerji depo edilmektedir. Aküler, güneş ışığının yetersiz olduğu ya da gece saatlerinde elektrik kullanılmasına imkân sağlarlar. Kurulum maliyeti on-grid sisteme göre yüksektir.

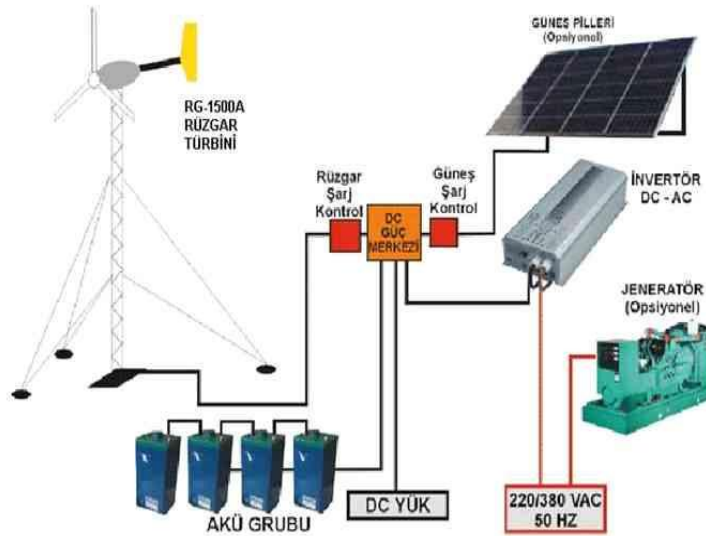
Şekil 3.4.'te elektrik şebekesine bağlantısız fotovoltaik bir sistemin görseli yer almaktadır.



Şekil 3.4.Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistem [10].

3.2.3. Hibrit bağlı fotovoltaik sistem

Hibrit bağlı sistemler, güneş enerjisinin yanında ikinci bir enerji kaynağının bulunduğu sistemlerdir. İkinci tip enerji rüzgâr, petrol ve biyogazla çalışan elektrik jeneratörü bulunmaktadır. Şekil 3.5.'te hibrit bağlı fotovoltaik sisteme ait görsel yer almaktadır.



Şekil 3.5.Hibrit fotovoltaik sistem [28].

3.3. Elektrik Enerjisi Üretimi Durumları

Lisanssız enerji santrali kurulumunda, yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü en fazla 1 MW olan üretim tesisini kurmak isteyen gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır.

Elektrik abonesi olan herkes lisanssız enerji üretimi tesisi kurabilir. Bu kişilerin kendi adlarına ait en az bir tüketim tesisi, diğer bir anlamda aboneliğinin bulunması gerekmektedir. Lisanssız enerji üretiminde, hidrolik enerji üretim tesisi kurulması durumunda kurulacağı yerdeki İl Özel İdaresine, diğer enerji üretim tesisi kurulumlarında ise dağıtım şirketine başvuru yapılması gerekmektedir.

Lisanslı enerji üretimi, 1 MW üstü kurulu güce sahip uygulamalardır. Tüketim gösterme zorunluluğu yoktur ve üretilen elektrik direkt olarak şebekeye verilebilir. Devlet tarafından lisans bedeli belirlenmektedir.

BÖLÜM 4. MANİSA İLİ İÇİN 1 MW GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ FİZİBİLİTESİ

Manisa'nın güneşlenmesi süresinin yüksek olması, halkın ekonomik durumunun yatırıma uygun olması ve güneş santrallerinin ekonomik getirisinin cazip olması sebebiyle artan santral taleplerine yol gösterici olması düşüncesiyle Manisa İlinde 1 MW santral kurulmasının ekonomiklik durumu analiz edilecektir.

Bu analiz, Ege bölgesinde kurulabilecek santral için kullanılabilir panel teknolojisi ve invertör verimleri analiz programlarıyla karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Bunun yanında sistemi oluşturacak malzemelerin tümünün yerli ya da ithal olması durumları için sistemin amortisman sürelerinin farkı incelenecektir. FV santralde önemli ana değişkenler, paneller ve invertörlerdir.

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi Manisa İli Saruhanlı İlçesi Azimli Köyünde bulunan ve koordinatları 38.8° kuzey enleminde ve 27.6° doğu boylamında yer alan arazi seçilmiştir. Arazinin seçilmesinde arazinin verimsizliği, düşük hava kirliliği, yıllık yağış miktarının azlığı, ormanlık ve ağaçlıklı bölgelerden uzak olması, rüzgar hızının minimum olması ve demografik yapı özellikleri dikkate alınmıştır.



Şekil 4.1. Saruhanlı ilçesi GES arazisi

4.1. PVsyst Yazılımı

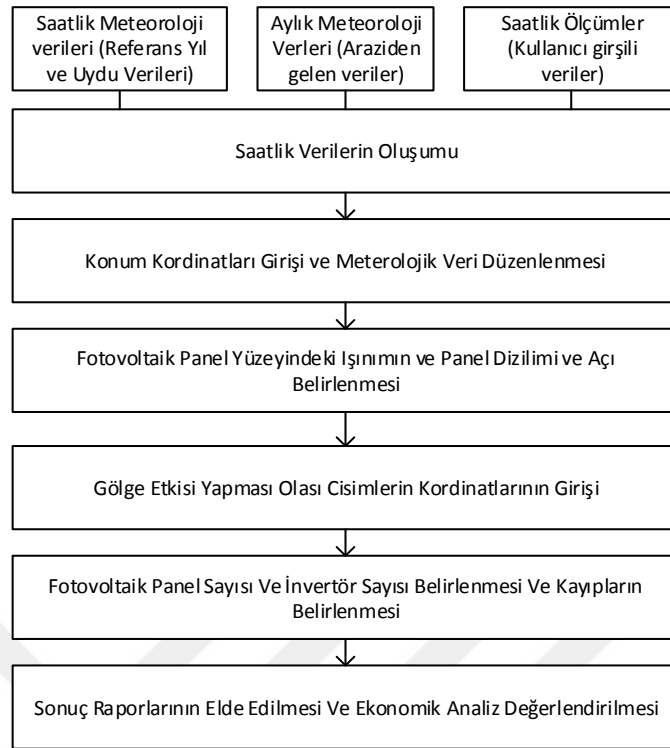
Güneş enerjisi santrali kurulumu amaçlı çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) güneş enerjisi harita tabanlı döküm sağlayan PV-GIS (AB) yazılımı, US National Renewable Energy tarafından geliştirilen uluslararası fotovoltaik sistemlerinin analizi için geniş kapsamda kullanılan, harita alt yapılı ücretsiz çevrimiçi program olan PVWATTS yazılımı, OFF-grid fotovoltaik sistemlerin dünya çapında tasarım ve simülasyonunda kullanılabilir basit, harita tabanlı, ücretsiz online hesaplama aracı CalculationSolar yazılımı, çatı entegre veya monte şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin online dinamik benzetimi için PV-SOL yazılımı gibi araçlar mevcuttur [30].

Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen PVsyst yazılımının ise, gerçeğe en uygun şekilde sonuçlar verdiği belirtilmiş ve çalışmamızda bu yazılımın kullanılmasına karar verilmiştir. Fotovoltaik santraller için simülasyon, boyutlandırma ve veri kıyaslaması yapılabilmektedir. Off-Grid ve On-Grid sistemlerin modellenerek incelenmesini sağlar. Çalışmamızda bu yazılım tercih edildiği için sistem çıktılarının genel özelliklerini ve nasıl kullanıldığı basitçe açıklanmaktadır.

PVsyst yazılımında sistem dizaynı hızlı ve basit bir prosedür üzerine dayandırılır. İstenilen güç ya da mevcut bir alan belirleme, dâhili bir veri tabanından FV modülü, invertör seçimi ve FV sistemi gibi bir çok ayar yapılmasına olanak sağlar. Belirlenen ayarlarla benzetim gerçekleştirilmesini kolaylaştırarak sonuç raporlarını ayrıntılı olarak sunar.

4.1.1. Yazılımın çalışma yöntemi

PVsyst yazılımında Bölüm 2.2.'de bahsedilen FV panel tek diyot eşdeğer devre modeli baz alınarak kullanılmaktadır. Şekil 4.2.'deki adımlar izlenerek simülasyon gerçekleştirilmektedir.



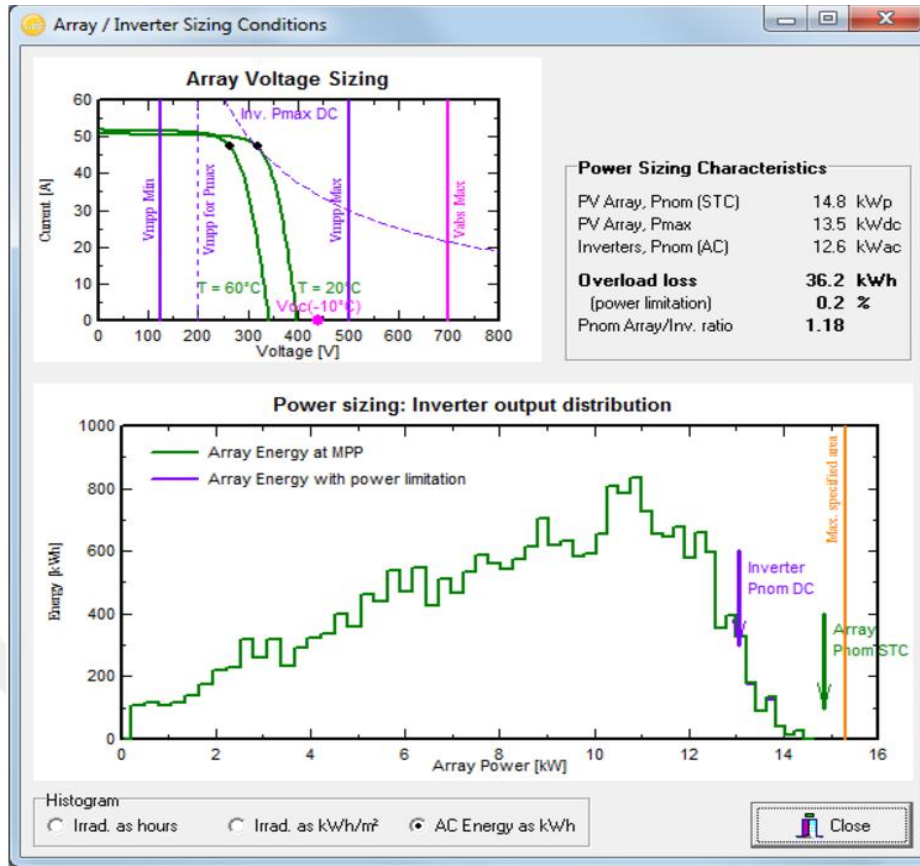
Şekil 4.2. PVsyst programının çalışma mantığı

4.1.2. Yazılım sonuç ekranı ve kayıplar diyagramı

Şekil 4.3.'te PVsyst programının sonuç ekranı ayrıntılı olarak yer almaktadır. Diyagram FV panel dizisinin I/V (Akım-Gerilim) eğrisini; MPPT oranını, invertörün gerilim, güç ve akım sınırları ile birlikte gösterir. Eviricinin optimal boyutu yıl boyunca kabul edilebilir aşırı yük kaybına dayandırılır.

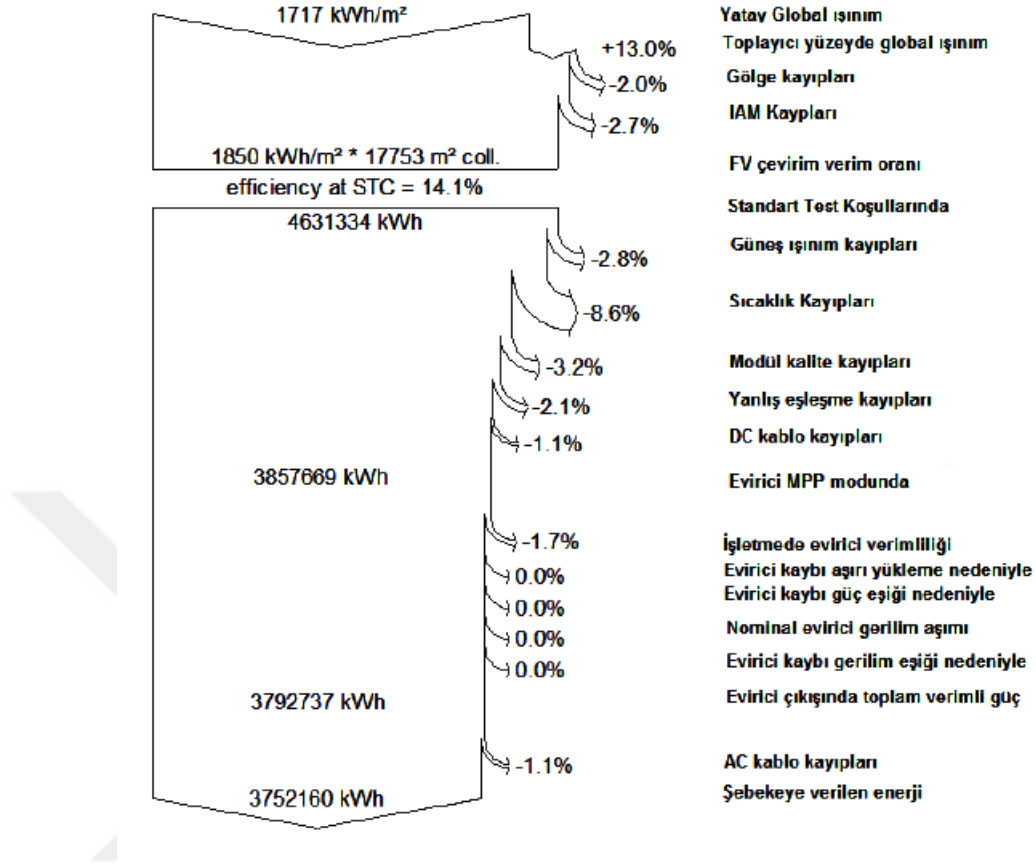
Kablo kayıpları, kablonun direncinden kaynaklanan kablo üzerinde oluşan ısı kayıplarıdır. FV sistemlerde maksimum akımda DC ve AC kablo kayıpları gerilim kaybı en fazla %2'yi geçmeyecek şekilde boyutlandırılır. PVsyst MPPT çalışma modunda yanlış eşleşme güç kayıplarını %1 olarak almaktadır [7].

İyi bir sistem ölçülendirmesinden sonra gölgeleme koşuluna yakın ve çevresel tanıtım için 3 boyutlu bir editör kullanarak uzak ve yakın gölgeleme gibi farklı kayıplar tanımlanabilir [30].



Şekil 4.3. PVsyst programının sonuç ekranı [29].

Simülasyon, yıl boyunca dağıtılan enerjiyi hesaplar. FV sistem karlılığının değerlendirilmesi için toplam enerji üretimi esastır. Performans oranı; sistemin kendi kalitesini tanımlar. Spesifik enerji; mevcut aydınlatma üzerine dayandırılan üretimin göstergesidir [30]. Şekil 4.4.'te FV sistemde yer alabilecek kayıplar ayrıntılı şekilde yer almaktadır.



Şekil 4.4. PVsyst programının kayıp diyagramı [7].

Tüm yıl boyunca oluşan kayıp diyagramı, simülasyonun içerdiği temel enerji, kayıp ve kazançları gösterir. Tasarımdaki olası gelişmeler ve sistem davranışının hızlı bir analizi için, etkili bir gösterimdir [30].

PVsyst yazılımı gerekli işlemleri gerçekleştirirken meteorolojik veriler, bölge kirlilik oranları (kum fırtınası, sis, çamur yağmuru vb.), güneş ışıınım değerleri, gölgelenme analizleri, yer yansım oranları, güneş panelinin yön ve açısı, güneş panelinin özellikleri ve yıllık kayıp oranları, invertörlerin verim özellikleri gibi detayları dikkate almaktadır.

4.2. Fizibilite Çalışması Senaryoları

PVsyst programından alınacak çıktılar sistemin ekonomiklik değerlemesinde kullanılacaktır. Sonuç yorumlarına bakılarak en uygun senaryo belirlenmektedir. Fizibilite çalışmasına ait senaryolar Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Fizibilite çalışması senaryoları

	Fotovoltaik Panel Çeşitleri					
	Axitec		Hanwha		Heckert	
	Monokristal	Polikristal	Monokristal	Polikristal	Monokristal	Polikristal
DeltaRPI M50A	Senaryo1	Senaryo2	Senaryo3	Senaryo4	Senaryo5	Senaryo6
ABB TRIO-27.6	Senaryo7	Senaryo8	Senaryo9	Senaryo10	Senaryo11	Senaryo12
SMA Sunny Tripower	Senaryo13	Senaryo14	Senaryo15	Senaryo16	Senaryo17	Senaryo18

Sabit Kabuller:

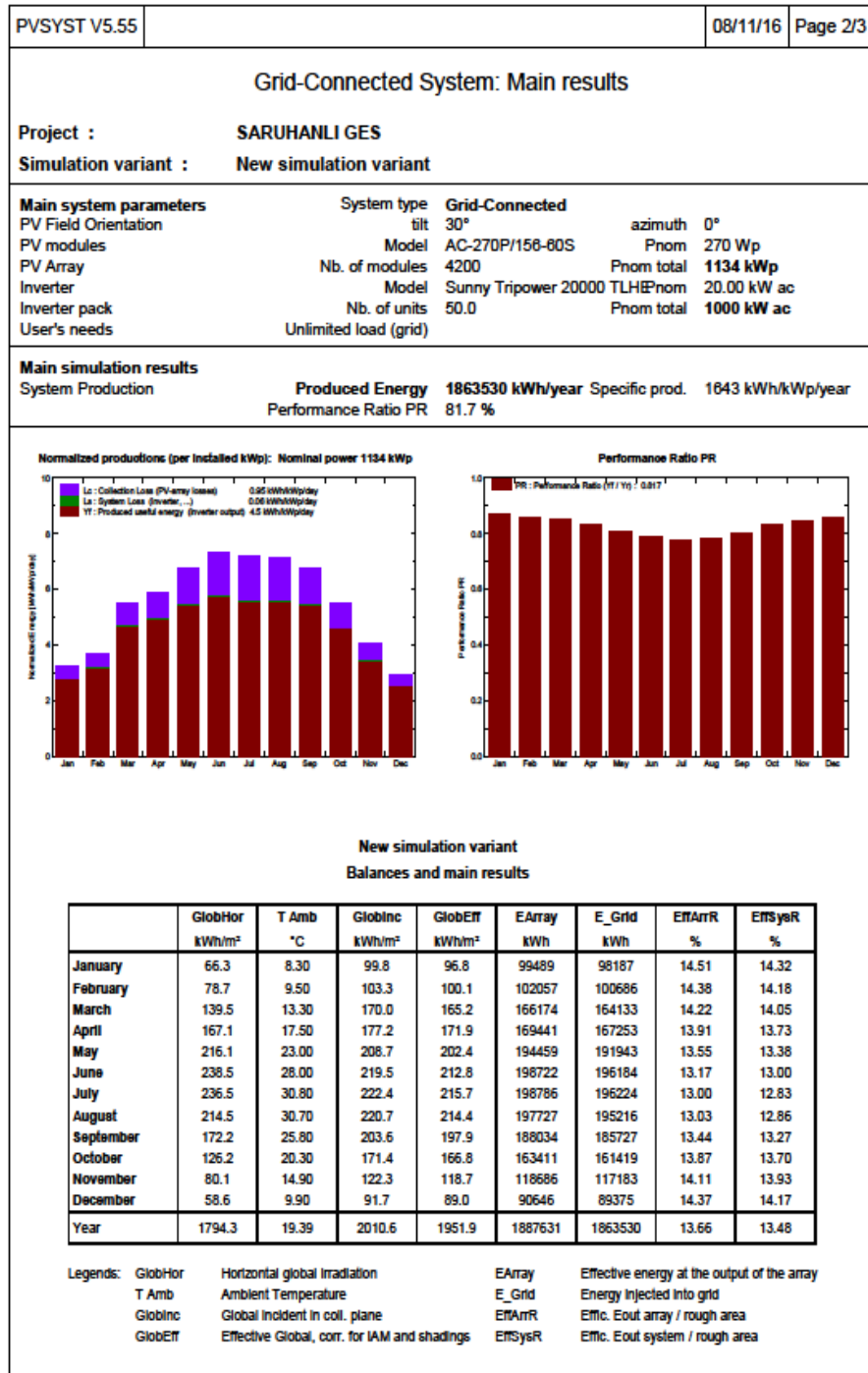
- Azimuth açısının (0° olduğu) yani panellerin tam güneye yönlendirildiği
- FV santralin $38,8^\circ$ kuzey $27,6^\circ$ doğu koordinatlarında yer aldığı
- Rüzgârın ortalama hızının 1 m/s olduğu
- Yansımaya değerlerinin 0,2 olarak alındığı
- Ufuk çizgisinin açık olduğu
- Tozlanma kaybının %3 olarak kabul edilmiştir.
- Sabit arazi tipi montaj 30°
- Her panel 270W gücündedir. 4200 Panel kullanılmıştır.
- Her panel boyutu farklı olduğundan kullanılan alan değişim göstermektedir.

a. 270 Watt Monokristal Axitec	6833 m ²
b. 270 Watt Polikristal Axitec	6875 m ²
c. 270 Watt Monokristal Hanwha	8257 m ²
d. 270 Watt Polikristal Hanwha	8257 m ²
e. 270 Watt Monokristal Heckert	7056 m ²
f. 270 Watt Polikristal Heckert	7056 m ²

PVSYST V5.55		08/11/16	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	SARUHANLI GES		
Geographical Site	SARUHANLI	Country	Turkey
Situation	Latitude 38.8°N	Longitude	27.6°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+2	Altitude	85 m
	Albedo 0.20		
Meteo data :	SARUHANLI, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	New simulation variant		
	Simulation date	08/11/16 11h19	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 30°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-poly	Model	AC-270P/156-60S
	Manufacturer	Axitec	
Number of PV modules	In series	21 modules	In parallel 200 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	4200	Unit Nom. Power 270 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1134 kWp	At operating cond. 1034 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	599 V	I mpp 1725 A
Total area	Module area	6875 m²	
Inverter			
	Model	Sunny Tripower 20000 TLHE	
	Manufacturer	SMA	
Characteristics	Operating Voltage	580-800 V	Unit Nom. Power 20.0 kW AC
Inverter pack	Number of Inverter	50 units	Total Power 1000.0 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)			NOCT 45 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	5.8 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Array Soiling Losses			Loss Fraction 3.0 %
Module Quality Loss			Loss Fraction 0.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter 0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)		

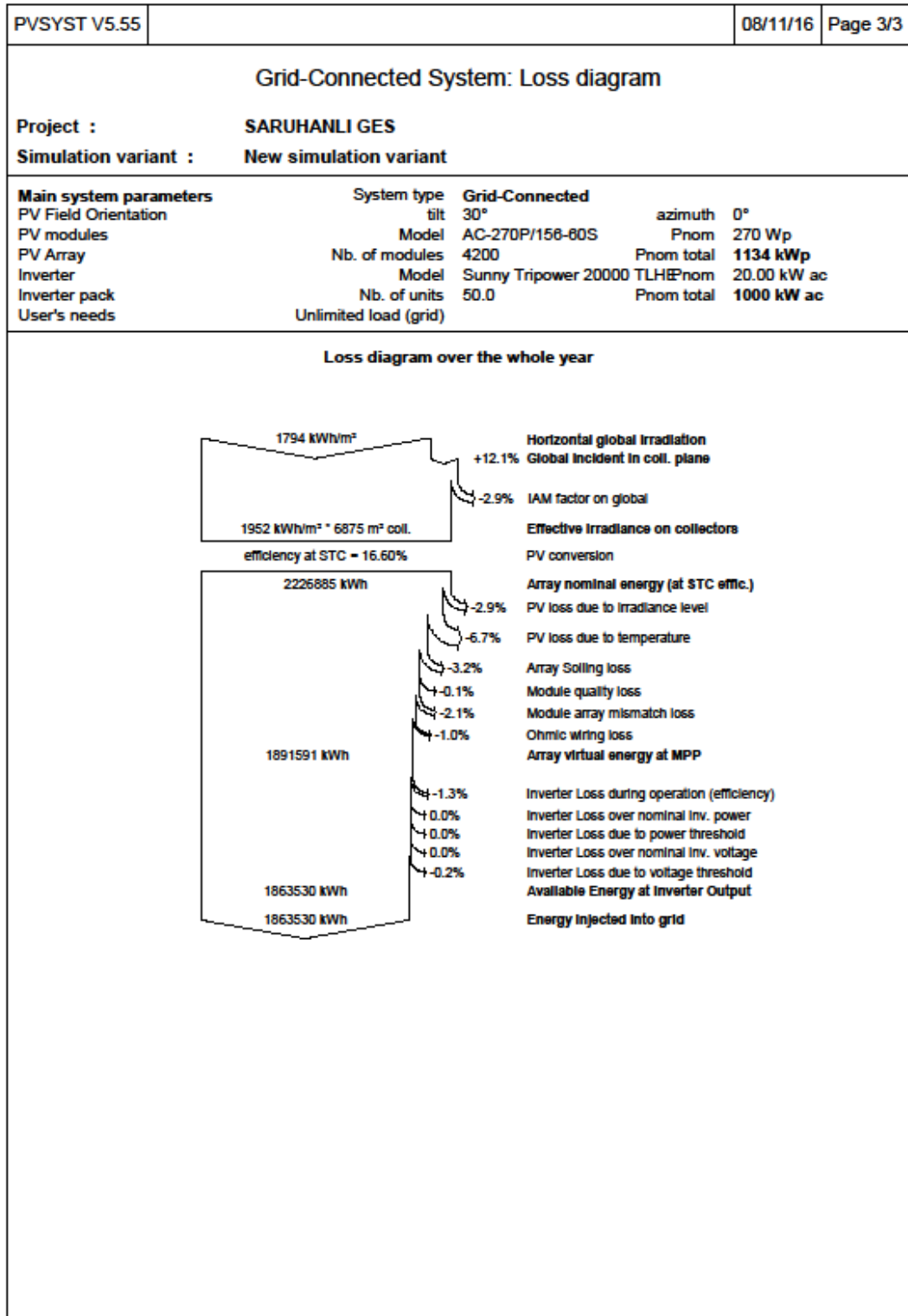
Şekil 4.5. PVsyst benzetim parametreleri ekranı

Şekil 4.5. ile benzetim parametrelerini özetleyen yazılım ekranı örneği sunulmaktadır.



Şekil 4.6. PVsyst örnek ana sonuç ekranı

Şekil 4.6. ile PVsyst örnek ana sonuç ekranı sunulmuştur. Burada performans oranı grafiği aylık ve yıllık verilere ulaşılabilmektedir .



Şekil 4.7. Pvsyst örnek kayıp diyagramı

Şekil 4.7.'de kayıpların bilgisini veren örnek bir kayıp diyagramı sunulmuştur.

4.3. Fizibilite Çalışması Simülasyon Sonuçları

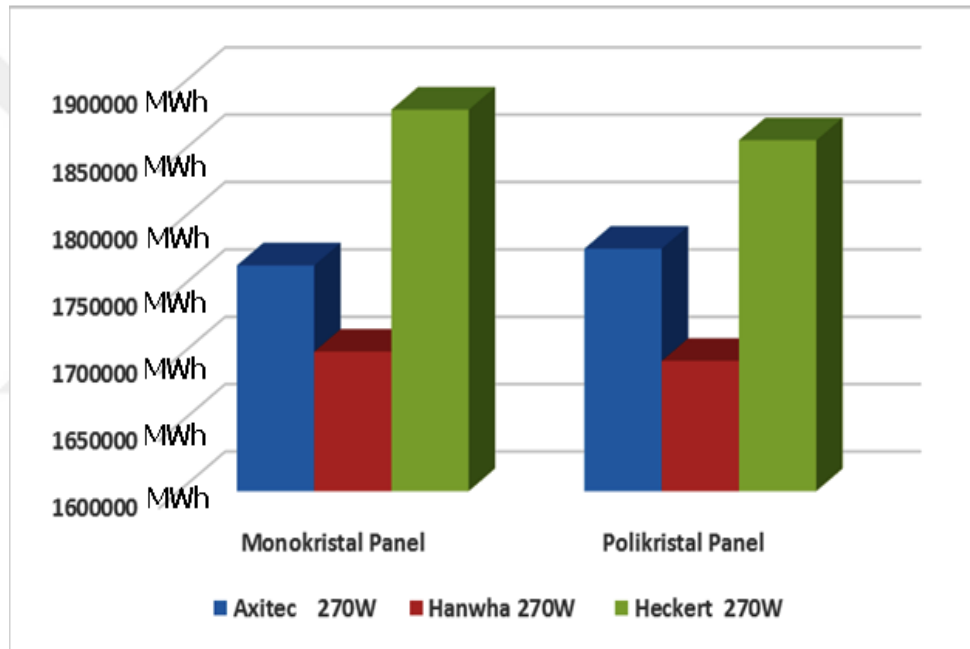
Analiz programı PVsyst ile kurulan farklı senaryolardan elde edilen enerji üretimleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Tüm senaryolar için enerji üretim değerleri

İnvertör Markası	FV Panel	Montaj Tipi	Elde Edilen Enerji (MWh)
Delta Solar Inverter	Axitec Monokristal	Sabit 30 derece	1767406
Delta Solar Inverter	Hanwha Monokristal	Sabit 30 derece	1703417
Delta Solar Inverter	Heckert Monokristal	Sabit 30 derece	1882954
Delta Solar Inverter	Axitec Polikristal	Sabit 30 derece	1779884
Delta Solar Inverter	Hanwha Polikristal	Sabit 30 derece	1696606
Delta Solar Inverter	Heckert Polikristal	Sabit 30 derece	1860290
ABB Solar Inverter	Axitec Monokristal	Sabit 30 derece	1833874
ABB Solar Inverter	Hanwha Monokristal	Sabit 30 derece	1762028
ABB Solar Inverter	Heckert Monokristal	Sabit 30 derece	1863920
ABB Solar Inverter	Axitec Polikristal	Sabit 30 derece	1843889
ABB Solar Inverter	Hanwha Polikristal	Sabit 30 derece	1755449
ABB Solar Inverter	Heckert Polikristal	Sabit 30 derece	1842406
SMA Solar Inverter	Axitec Monokristal	Sabit 30 derece	1851779
SMA Solar Inverter	Hanwha Monokristal	Sabit 30 derece	1788019
SMA Solar Inverter	Heckert Monokristal	Sabit 30 derece	1887066
SMA Solar Inverter	Axitec Polikristal	Sabit 30 derece	1863530
SMA Solar Inverter	Hanwha Polikristal	Sabit 30 derece	1780961
SMA Solar Inverter	Heckert Polikristal	Sabit 30 derece	1862065

Sistemin ana değişkenleri arasında yer alan invertör ve panellerle ilgili tasarımlar yapılmıştır. Bu tasarımlarda 3 farklı marka invertör, 3 farklı marka panel ve iki farklı yapı olarak da monokristal ve polikristal seçilmiştir. Bu seçimler sonucunda 18 farklı sonuç elde edilmiştir. Aşağıda ana başlıklar invertör markaları sonra panel markaları en sonunda da panel türü değiştirilerek sonuçlar analiz edilmiştir.

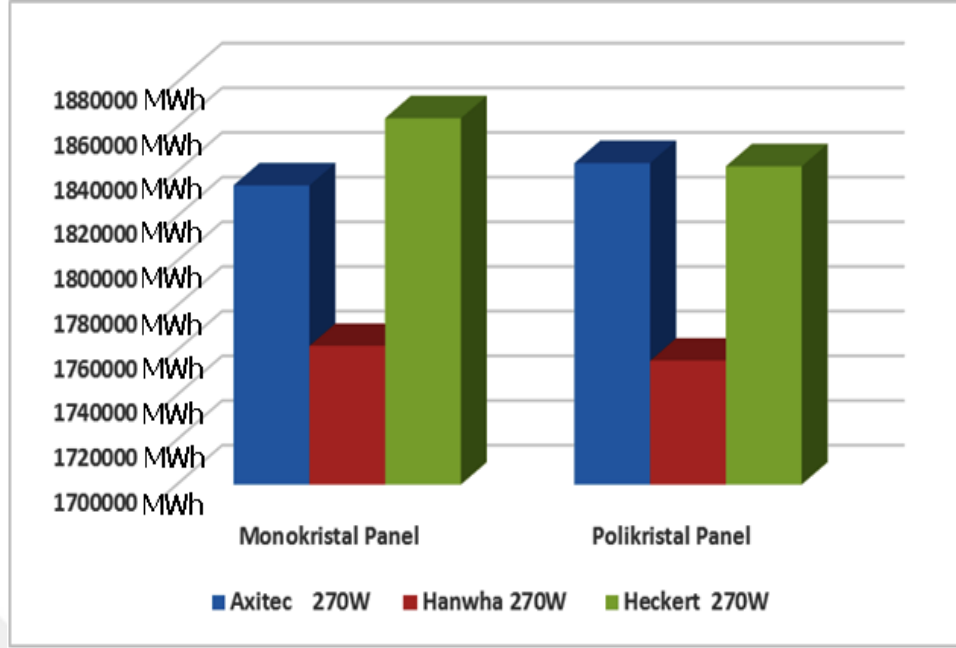
İlk olarak Delta markalı invertör ve Axitec, Hanwha ve Heckert markalı panel firmaları seçilmiştir. Son olarak da her panel firmasının aynı özellikteki monokristal ve polikristal panel türleri seçilerek Şekil 4.8.'te sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Delta invertör sonuçları

Şekil 4.8.'ten anlaşılacağı üzere Delta invertörde en iyi sonuç Heckert markanın monokristal panel kullanılan senaryosunda görülmektedir.

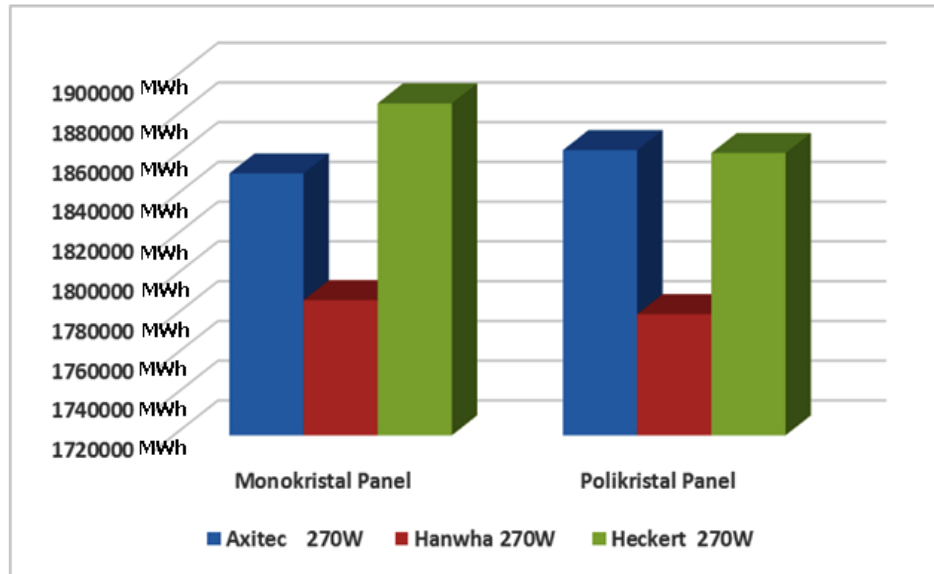
İkinci olarak ABB markalı invertör ve Axitec, Hanwha ve Heckert markalı panel firmaları seçilmiştir. Son olarak da her panel firmasının aynı özellikteki monokristal ve polikristal panel türleri seçilerek Şekil 4.9.'da sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.9. ABB invertör sonuçları

Şekil 4.9.'dan görüleceği üzere ABB invertörde en iyi sonucu Heckert markanın monokristal panel kullanılan senaryosudur.

Üçüncü olarak SMA markalı invertör ve Axitec, Hanwha ve Heckert markalı panel firmaları seçilmiştir. Son olarak da her panel firmasının aynı özellikteki monokristal ve polikristal panel türleri seçilerek Şekil 4.10.'da sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.10. SMA invertör sonuçları

Şekil 4.10.'dan anlaşılacağı üzere SMA invertörde en iyi sonucu Heckert markanın polikristal panel kullanılan senaryo vermektedir.

Üç şekilden de anlaşıldığı gibi en iyi sonucu SMA invertör ve Heckert monokristal tasarımın yer aldığı tasarım görülmektedir. Bu sonuçlar ekonomiklik değerlendirilmesinde kullanılacaktır. Sadece sonucun yüksek çıkması sistemin en ekonomik olduğunu göstermekte yetersiz kalmaktadır. Kurulum maliyetlerinin de dikkate alınmasıyla amortisman sürelerinin oluşturacağı sonuçlar, fizibilite çalışmasının ana unsurunu oluşturmaktadır.

4.4. Güneş Enerji Santrali Ekonomik Analizi

Yatırımcıların lisanssız fotovoltaik santrali tasarımı ve proje izinleriyle uğraşırken değerlendirmesi gereken en önemli hususlardan biri de projenin kârlılığıdır. Projenin gelir ve giderlerinin hesaba katılması ile projeye yatırılan paranın amortisman süresinin hesaplanması gerçekleştirilmektedir.

1 MW'lık fotovoltaik santralin finansal hesaplaması yapılırken gerekli olan, yatırım maliyetleri ve proje gelirleridir. Buradaki sistemde aynı güçteki santral için farklı malzeme ve ekipmanlar ile farklı tasarımlar yapılmıştır. Manisa için tüm senaryoların ekonomik incelemesi yapılmış olup, santral kurulum aşamasında karşılaşılabilecek tüm harcama kalemlerine değinilmiştir. 1 MW'lık santrale hangi harcama kaleminin ne kadar tutacağı piyasa şartları ve döviz kurunda dikkate alınarak titizlikle incelenmiştir. Proje kapsamında dolar para birimi kullanılmıştır. Döviz kuru da 1 dolar 3,2 TL olarak alınmıştır.

4.4.1. Yatırım giderleri

Fotovoltaik santral kurulumu oluşturan ana harcama giderleri: fotovoltaik paneller, solar invertörler, solar konstrüksiyon maliyeti, kablo kanalı, solar kablolar, paratoner, orta gerilim enerji iletim hattı, saha çevresi düzenlemesi (dikenli tel, çit, direk...),

güvenlik kamera sistemi, idari bina, saha düzenlenmesi, saha aydınlatma, proje ve arazi giderleri ve diğer giderler yer almaktadır.

4.4.1.1. Fotovoltaik panel maliyeti

Fotovoltaik santral maliyetinin en büyük kısmını fotovoltaik paneller oluşturmaktadır. Birçok fotovoltaik panel çeşitleri ve markaları vardır. Yani fotovoltaik panel için ürün yelpazesi oldukça geniştir. Bu çeşitlilikte fiyat açısından birçok farklılıklar göstermektedir. Projede tercihimiz 270 Watt gücünde fotovoltaik panel seçilmiştir. Tasarımların herbirinde 4200 adet panel kullanılmıştır.

Yüksek güçteki santraller için panel fiyatları watt başına belirlenmektedir. Projede kullanılan panellerin piyasa şartlarından elde edilen birim fiyatları Tablo 4.3.'de yer almaktadır.

Tablo 4.3. Fotovoltaik panel maliyet tablosu

Marka-Teknolojisi	Watt	Watt Birim Tutarı (\$ dolar)	Panel Adedi	Toplam Maliyeti (\$ dolar)
Axitec Monokristal	270	0,76	4200	861840
Axitec Polikristal	270	0,73	4200	827820
Hanwha Monokristal	270	0,74	4200	839160
Hanwha Polikristal	270	0,72	4200	816480
Heckert Monokristal	270	0,725	4200	822150
Heckert Polikristal	270	0,675	4200	765450

4.4.1.2. Solar invertör maliyeti

Bir diğer önemli maliyet ise invertörlerdir. Fotovoltaik enerji santralının amortisman süresini düşürmek için, güneş paneli ve invertör için fiyat çalışması çok

dikkatli yapılmalıdır. Çünkü bu analiz, 12 ay ile 20 ay arası daha erken amortisman şansı tanıyabilmektedir.

Türkiye’de birçok çeşit invertör modeli bulunmaktadır. İnvörtör tercihi oldukça önem arz etmektedir. Fotovoltaik panel ne kadar önemli ise invertör de bir o kadar önemlidir. Çünkü invertör çeşitleri arasında da verimlilik oranları değişmektedir. Bir invertör verimliliğinin fazla olması geliri artırmaktadır. Projede yer alan invertör markalarının piyasada yer alan maliyetleri Tablo 4.4.’de yer almaktadır.

Tablo 4.4. Solar invertör maliyet tablosu

MARKA	MODEL	Adet Sayısı	Adet Fiyatı (\$)	Toplam Maliyet (\$)
Delta	Solar Invertör RPI M50A	20	5085	101700
ABB	TRIO-27.6	35	3706	129710
SMA	Suny Tripower 20000 TLHE	50	2455	117750

4.4.1.3. Santral sahasında fiziki şartların sağlanması

Santral sahasında fiziki şartların sağlanması, santral sahasının projeyi uygulamaya yönelik uygun hale getirilmesi için gerekli bütün işleri ifade etmektedir. Fotovoltaik enerji tesisinin kurulması için gerekli inşaat işleri, makine ve teçhizatın temin edilmesi ile birlikte saha hazırlanmasında kullanılacak tel örgü ve güvenlik kameralarının yerleştirilmesi, montaj, trafo ve kontrol odası inşasından oluşmaktadır. Proje için belirlenen alanın karakteristik yapısı çok önemlidir. Buna bağlı olarak çok yüksek bir fiyat ortaya çıkabilir ya da makul bir fiyat ile karşılaşılabılır. Bu çalışmanın yapıldığı alan santral kurulumuna uygun ve düzenleme ihtiyacı oldukça azdır. Piyasa şartlarında 80.000 \$ ile 750.000 \$ arasında değişkenlik göstermektedir.

4.4.1.4. Santral sahasının arazi bedeli

Manisa ili Saruhanlı İlçesi Azimli Köyü sınırları içerisinde yer alan arazilerin satış bedelleri araştırılmıştır. İlgili bölgede yaşayan insanlarla yapılan görüşmeler sonrasında alınan bilgilere göre kuru tarım arazisi olan bölgelerdeki arazi satış bedeli ortalama dekar başına 8000 \$ olarak kabul edilmiştir. Bu bedel üzerinden 15 dekar arazi, proje için tesis edilmiştir.

4.4.1.5. Proje hazırlanması ve proje takibi

Manisa ve İzmir yer alan fotovoltaik santral yapımı işi uğraşan firmalarla yapılan görüşmeler sonucunda proje hazırlama, devreye alma, mühendislik hizmetleri ve proje takibi için 50.000 \$ ile 100.000 \$ arasında değişkenlik göstermektedir.

4.4.1.6. Şebeke bağlantısı nakil hattı

Daha önce belirtildiği gibi, kurulması planlanan fotovoltaik enerji santralinde üretilen enerjinin şebeke bağlantısı, lisanssız santrallerde dağıtım şebekesine bağlanmaktadır. En yakın dağıtım şebekesi ise 500 m uzaklıktadır. Şebeke bağlantısı için gerekli trafo kurulumu ve enerji nakil hattı maliyeti havai hat 60 \$, yer altı kablosu olursa 90 \$ olarak belirlenmiştir.

4.4.1.7. Santral güvenliği ve bakım giderleri

Santralin bakımı ve güvenliği için 3 kişi çalışacaktır. Bunlar hem güvenlikten hem de panellerin temizliğinden sorumlu olacaklardır. Panelleri tazyikli su ile temizleyeceklerdir. Bu maliyet kaleminin de yıllık ortalama 25.000 \$ ile 30.000 \$ arasında olacağı ön görülmektedir.

4.4.1.8. Beklenilmeyen giderler

Santralin yapım aşamasında olabilecek aksilikler, unutulabilecek olan maliyet kalemleri ve görünmez kazalar için panel maliyetlerinin %10'u kadar hesaplanmıştır. Sistemde yer alan senaryolarının hepsinin piyasaya koşullarında dikkate alınarak ayrı ayrı bir maliyeti olmaktadır. Tablo 4.5.'te her farklı senaryonun maliyeti hesaplanmıştır.

Tablo 4.5. Toplam maliyet tablosu

İnvertör Markası	Panel Markası	Maliyet (USD)
Delta Solar Inverter	Axitec Monokristal	1493322
Delta Solar Inverter	Hanwha Monokristal	1469508
Delta Solar Inverter	Heckert Monokristal	1447395
Delta Solar Inverter	Axitec Polikristal	1462704
Delta Solar Inverter	Hanwha Polikristal	1449096
Delta Solar Inverter	Heckert Polikristal	1396365
ABB Solar Inverter	Axitec Monokristal	1521332
ABB Solar Inverter	Hanwha Monokristal	1497518
ABB Solar Inverter	Heckert Monokristal	1475405
ABB Solar Inverter	Axitec Polikristal	1490714
ABB Solar Inverter	Hanwha Polikristal	1477106
ABB Solar Inverter	Heckert Polikristal	1424375
SMA Solar Inverter	Axitec Monokristal	1514372
SMA Solar Inverter	Hanwha Monokristal	1490558
SMA Solar Inverter	Heckert Monokristal	1468445
SMA Solar Inverter	Axitec Polikristal	1483754
SMA Solar Inverter	Hanwha Polikristal	1470146
SMA Solar Inverter	Heckert Polikristal	1417415

4.4.2. Enerji satış gelirleri

Ekonomik analizler yapılırken enerji satış gelirleri hesaplanırken yenilenebilir enerji kaynakları kanun tasarısı dikkate alınmıştır. Tasarıda yer alan bilgilere göre; fotovoltaik prensiple elektrik üretimi yapan tesislerde üretilen enerjiyi ilk 10 yıl için 13,3 Dolar cent/kWh ile alım gerçekleştireceğinin garantisini vermektedir. Buna ek

olarak santral yapımında yerli ürünler kullanıldıkça ilk 5 yıl için ekstra teşvikler vermektedir. Tablo 4.6., Tablo 4.7. ve Tablo 4.8.'te ayrıntılı ile gösterilmiştir.

Devletin enerji alım fiyatına katkısı, sistem bileşenleri için farklı farklıdır. Tablo 4.6.'da FV panelin mekanik yapısı, invertörün güç ünitesi ve FV modül odaklıcısının yerli olması durumundaki ilave teşvik birim fiyatları ayrıntılı olarak yer almaktadır.

Tablo 4.6. Mekanik aksam, invertör ve yansıtıcının yerli kullanımına fiyat ilavesi

Yurt İçinde Gerçekleşen Aksam İmalatı	Bütünleştirici Parçaları	Yerli Aksam Oranı (%)	Yerli katkı ilavesi(\$ cent/kWh)
FV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	Taşıyıcı yapı(mekanik bağlantı elemanları, destek temeli, takipli veya takipsiz destek yapısı, kablo kanalları)	55	0,8
	Elektriksel bağlantılar (Kablo, kablo bağlantıları, sistem koruma devreleri)	45	
İnvertör	Doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesini sağlayan güç elektroniği ünitesi	100	0,6
FV modülü üzerinde güneş ışınını odaklayan malzeme	Yoğunlaştıran yansıtıcı veya odaklayıcı özellikli optik malzeme	100	0,5

FV modülü oluşturan kristal hücrelerin ana görselini oluşturan, kristal hücreleri bir arada tutan ve soğutma işlevini üstlenen parçaların yerli olması durumundaki ilave teşvik birim fiyatları ayrıntılı olarak Tablo 4.7.'de yer almaktadır.

Tablo 4.7. FV modülün yerli kullanımına fiyat ilavesi

Yurt İçinde Gerçekleşen Aksam İmalatı	Bütünleştirici Parçaları	Yerli Aksam Oranı (%)	Yerli katkı ilavesi(\$ cent/kWh)	
FV modülleri	Cam	20	1,3	
	Çerçeve	15		
	Kristal esaslı FV modüller	Hücre koruyucu sarma/kaplama malzemesi (Enkapsulant)		20
		Alt koruyucu tabaka (back sheet)		20
		Kablo bağlantısı kutusu (junction box)		20
		Akım Taşıyıcı İletken Şerit		15
	Odaklayıcı FV modüller	Hücreleri bir arada tutan yapı		35
Çerçeve		15		
Soğutucu hücre		50		

FV modülü oluşturan kristal hücrelerin kısımlarından silisyum, kütük, ince film, atlık, parçaların yerli olması durumundaki ilave teşvik birim fiyatları ayrıntılı olarak Tablo 4.8.'de yer almaktadır.

Tablo 4.8. FV modülün hücrelerinin yerli kullanımına fiyat ilavesi

Yurt İçinde Gerçekleşen Aksam İmalatı	Bütünleştirici Parçaları	Yerli Aksam Oranı (%)	Yerli katkı ilavesi (\$ cent/kWh)	
FV modülünü oluşturan hücreler	Saflaştırılmış silisyum	25	3,5	
	Kristal esaslı FV hücreler	Kütük (Ingot)		15
		Dilimlenmiş külçeler (Wafer)		30
		Hücre		30
		İnce film esaslı FV hücreler		İnce film malzemesi
		İnce film taşıyan atlık (cam vb.)		20
		İnce film hücre		60

4.4.3. Senaryoların enerji gelirleri

Farklı güneş paneli teknolojisi, farklı panel üreticisi ve farklı invertör üreticileri üreticilerin üretmiş oldukları ürünlerle 18 farklı senaryo hazırlamıştır. Bu senaryolarda sistemin 7 yılda üreteceği enerji, elde edilecek satış geliri, bakım masrafları hesaplanmıştır. Ekstra olarak sistemin kurulumunda kullanılan tüm malzemelerin hepsinin ithal olması ve hepsinin yerli olması durumunda elektrik satış fiyatının değişeceği göz önüne alınarak iki farklı ekonomik sonuç elde edilmiştir. Aşağıdaki tablolarda 6 farklı senaryonun 18 farklı tasarım sonucu ve 36 farklı ekonomik sonucu yer almaktadır.

İlk senaryo, Delta invertör ve Axitec monokristal panelle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.9.'da verilmiştir.

Tablo 4.9. Delta invertör Axitec monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1767406	1758569	1749776	1741027	1732322	1723660,5	1715042
Satıs (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	235064,99	233889,67	232720,2	231556,6	230398,8	229246,85	228101
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,292	22063
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	222610,99	220190,27	217650,9	214980,3	212164,9	209189,55	206038
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1767406	1758569	1749776	1741027	1732322	1723660,5	1715042
Satıs (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	353481,2	351713,79	349955,2	348205,4	346464,4	229246,85	228101
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,292	22063
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	341027,2	338014,39	334885,9	331629,2	328230,5	209189,55	206038

İkinci senaryo, Delta invertör ve Axitec polikristal panellerle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.10.'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Delta invertör Axitec polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1779884	1770985	1762130	1753319	1744552	1735830	1727151
Satıs (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	236724,57	235540,9	234363,2	233191,4	232025,5	230865,3	229711
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	224270,57	221841,5	219293,9	216615,2	213791,6	210808,1	207648
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1779884	1770985	1762130	1753319	1744552	1735830	1727151
Satıs (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	355976,8	354196,9	352425,9	350663,8	348910,5	230865,3	229711
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	343522,8	340497,5	337356,6	334087,5	330676,6	210808,1	207648

Üçüncü senaryo, Delta invertör ve Hanwha monokristal panelle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.11.'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Delta invertör Hanwha monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1703417	1694900	1686425,4	1677993	1669603,3	1661255	1652949
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	226554,46	225421,7	224294,58	223173,1	222057,24	220947	219842,2
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,901	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	214100,46	211722,3	209225,24	206596,8	203823,34	200889,7	197779,2
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1703417	1694900	1686425,4	1677993	1669603,3	1661255	1652949
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	340683,4	338980	337285,08	335598,7	333920,66	220947	219842,2
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,901	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	328229,4	325280,6	322215,74	319022,4	315686,76	200889,7	197779,2

Dördüncü senaryo, Delta invertör ve Hanwha polikristal panelle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.12.'de verilmiştir.

Tablo 4.12. Delta invertör Hanwha polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1696606	1688123	1679682	1671284	1662928	1654613	1646340
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	225648,59	224520,4	223397,8	222280,8	221169,4	220063,5	218963,2
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	213194,59	210821	208328,4	205704,5	202935,5	200006,2	196900,2
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1696606	1688123	1679682	1671284	1662928	1654613	1646340
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	339321,2	337624,6	335936,5	334256,8	332585,5	220063,5	218963,2
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	326867,2	323925,2	320867,1	317680,5	314351,6	200006,2	196900,2

Beşinci senaryo, Delta invertör ve Heckert monokristal panelle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.13.'te verilmiştir.

Tablo 4.13. Delta invertör Heckert monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1882954	1873539	1864172	1854851	1845576	1836349	1827167
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	250432,82	249180,7	247934,8	246695,1	245461,7	244234,4	243013,2
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	237978,88	235481,3	232865,5	230118,9	227227,8	224177,1	220950,2
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1882954	1873539	1864172	1854851	1845576	1836349	1827167
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	376590,8	374707,8	372834,3	370970,1	369115,3	244234,4	243013,2
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	364136,8	361008,4	357765	354393,9	350881,4	224177,1	220950,2

Altıncı senaryo, Delta invertör ve Heckert polikristal panellerle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.14.'te verilmiştir.

Tablo 4.14. Delta invertör Heckert polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1860290	1850989	1841734	1832525	1823362	1814246	1805174
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	247418,57	246181,5	244950,6	243725,8	242507,2	241294,7	240088,2
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	234964,57	232482,1	229881,2	227149,5	224273,3	221237,4	218025,2
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1860290	1850989	1841734	1832525	1823362	1814246	1805174
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	372058	370197,7	368346,7	366505	364672,5	241294,7	240088,2
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	359604	356498,3	353277,4	349928,7	346438,6	221237,4	218025,2

Yedinci senaryo, ABB invertör ve Axitec monokristal panellerle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.15.'te verilmiştir.

Tablo 4.15. ABB invertör Axitec monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1833874	1824705	1815581	1806503	1797471	1788483	1779541
Satış (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	243905,24	242685,7	241472,3	240264,9	239063,6	237868,3	236678,9
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	231451,24	228986,3	226402,9	223688,7	220829,7	217811	214615,9
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1833874	1824705	1815581	1806503	1797471	1788483	1779541
Satış (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	366774,8	364940,9	363116,2	361300,6	359494,1	237868,3	236678,9
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	354320,8	351241,5	348046,9	344724,4	341260,2	217811	214615,9

Sekizinci senaryo, ABB invertör ve Axitec polikristal panellerle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.16.'da verilmiştir.

Tablo 4.16. ABB invertör Axitec polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1843889	1834670	1825496	1816369	1807287	1798250	1789259
Satış (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	245237,23	244011,1	242791	241577	240369,2	239167,3	237971,5
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	232783,23	230311,7	227721,7	225000,8	222135,3	219110	215908,5
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1843889	1834670	1825496	1816369	1807287	1798250	1789259
Satış (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	368777,8	366933,9	365099,2	363273,7	361457,4	239167,3	237971,5
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	356323,8	353234,5	350029,9	346697,5	343223,5	219110	215908,5

Dokuzuncu senaryo, ABB invertör ve Hanwha monokristal panelle yapılmıştır. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.17.'de verilmiştir.

Tablo 4.17. ABB invertör Hanwha monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1762028	1753218	1744452	1735730	1727051	1718416	1709824
Satıs (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	234349,72	233178	232012,1	230852	229697,8	228549,3	227406,5
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	221895,72	219478,6	216942,7	214275,8	211463,9	208492	205343,5
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1762028	1753218	1744452	1735730	1727051	1718416	1709824
Satıs (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	352405,6	350643,6	348890,4	347145,9	345410,2	228549,3	227406,5
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	339951,6	336944,2	333821	330569,6	327176,3	208492	205343,5

Onuncu senaryo, ABB invertör ve Hanwha polikristal paneller yapılmıştır. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.18.'de verilmiştir.

Tablo 4.18. ABB invertör Hanwha polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1755449	1746672	1737938	1729249	1720602	1711999	1703439
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	233474,71	232307,3	231145,8	229990,1	228840,1	227695,9	226557,4
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	221020,71	218607,9	216076,5	213413,8	210606,2	207638,6	204494,4
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1755449	1746672	1737938	1729249	1720602	1711999	1703439
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	351089,8	349334,4	347587,7	345849,7	344120,5	227695,9	226557,4
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	338635,8	335635	332518,3	329273,5	325886,6	207638,6	204494,4

Onbirinci senaryo, ABB invertör ve Heckert monokristal panelle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.19.'da verilmiştir.

Tablo 4.19. ABB invertör Heckert monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1863920	1854600	1845327	1836101	1826920	1817786	1808697
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	247901,36	246661,9	245428,5	244201,4	242980,4	241765,5	240556,7
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	235447,36	232962,5	230359,2	227625,1	224746,5	221708,2	218493,6
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1843889	1834670	1825496	1816369	1807287	1798250	1789259
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	368777,8	366933,9	365099,2	363273,7	361457,4	239167,3	237971,5
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	356323,8	353234,5	350029,9	346697,5	343223,5	219110	215908,5

Onikinci senaryo, ABB invertör ve Heckert polikristal panellerle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.20.'de verilmiştir.

Tablo 4.20. ABB invertör Heckert polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1842406	1833194	1824028	1814908	1805833	1796804	1787820
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satis gelirleri (USD)	245039,99	243814,8	242595,7	241382,7	240175,8	238975	237780,1
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	232585,99	230115,4	227526,4	224806,5	221941,9	218917,7	215717,1
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1842406	1833194	1824028	1814908	1805833	1796804	1787820
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satis gelirleri (USD)	368481,2	366638,8	364805,6	362981,6	361166,7	238975	237780,1
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	356027,2	352939,4	349736,3	346405,3	342932,8	218917,7	215717,1

Onüçüncü senaryo, SMA invertör ve Axitec monokristal panelle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.21.'de verilmiştir.

Tablo 4.21. SMA invertör Axitec monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1851779	1842520	1833308	1824141	1815020	1805945	1796915
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	246286,60	245055,2	243829,9	242610,7	241397,7	240190,7	238989,8
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	233832,60	231355,8	228760,6	226034,5	223163,8	220133,4	216926,7
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1851779	1842520	1833308	1824141	1815020	1805945	1796915
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	370355,8	368504	366661,5	364828,2	363004,1	240190,7	238989,8
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	357901,8	354804,6	351592,2	348251,9	344770,2	220133,4	216926,7

Ondördüncü senaryo, SMA invertör ve Axitec polikristal panelle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.22.'de verilmiştir.

Tablo 4.22. SMA invertör Axitec polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1863530	1854212	1844941	1835717	1826538	1817405	1808318
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	247849,49	246610,2	245377,2	244150,3	242929,6	241714,9	240506,3
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	235395,49	232910,8	230307,9	227574	224695,7	221657,6	218443,3
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1863530	1854212	1844941	1835717	1826538	1817405	1808318
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	372706	370842,5	368988,3	367143,3	365307,6	241714,9	240506,3
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	360252	357143,1	353918,9	350567	347073,7	221657,6	218443,3

Onbeşinci senaryo, SMA invertör ve Hanwha monokristal panelle yapılmıştır. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.23.'te verilmiştir.

Tablo 4.23. SMA invertör Hanwha monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1788019	1779079	1770184	1761333	1752526	1743763	1735044
Satıs (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	237806,52	236617,5	235434,4	234257,2	233085,9	231920,5	230760,9
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	225352,52	222918,1	220365,1	217681	214852	211863,2	208697,9
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1788019	1779079	1770184	1761333	1752526	1743763	1735044
Satıs (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	357603,8	355815,8	354036,7	352266,5	350505,2	231920,5	230760,9
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	345149,8	342116,4	338967,4	335690,2	332271,3	211863,2	208697,9

Onaltıncı senaryo, SMA invertör ve Heckert polikristal panelle gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.24.'te verilmiştir.

Tablo 4.24. SMA invertör Hanwha polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1780961	1772056	1763196	1754380	1745608	1736880	1728196
Satıs (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	236867,81	235683,5	234505,1	233332,5	232165,9	231005	229850
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	224413,81	221984,1	219435,7	216756,3	213932	210947,7	207787
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1780961	1772056	1763196	1754380	1745608	1736880	1728196
Satıs (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satıs gelirleri (USD)	356192,2	354411,2	352639,2	350876	349121,6	231005	229850
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	343738,2	340711,8	337569,8	334299,7	330887,7	210947,7	207787

Onyedinci senaryo, SMA invertör ve Heckert monokristal paneller gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.25.'te verilmiştir.

Tablo 4.25. SMA invertör Heckert monokristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1887066	1877631	1868243	1858901	1849607	1840359	1831157
Satis (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	250979,77	249724,9	248476,3	247233,9	245997,7	244767,7	243543,9
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	238525,77	236025,5	233406,9	230657,6	227763,8	224710,4	221480,9
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1887066	1877631	1868243	1858901	1849607	1840359	1831157
Satis (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	377413,2	375526,1	373648,5	371780,3	369921,4	244767,7	243543,9
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	364959,2	361826,7	358579,2	355204	351687,5	224710,4	221480,9

Onsekizinci senaryo, SMA invertör ve Heckert polikristal paneller gerçekleştirilmiştir. Sistemin üretim değerleri ve yedi yıllık getirisi ayrıntılı şekilde Tablo 4.26.'da verilmiştir.

Tablo 4.26. SMA invertör Heckert polikristal panel ekonomik değerlendirme

% 100 ithal olma durumu							
Yıl	1	2	3	4	5	6	7
Üretim (kWh)	1862065	1852755	1843491	1834273	1825102	1815977	1806897
Satış (USD/kWh)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	247654,64	246416,4	245184,3	243958,4	242738,6	241524,9	240317,3
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	235200,64	232717	230114,9	227382,1	224504,7	221467,6	218254,2
% 100 yerli olma durumu							
Üretim (kWh)	1862065	1852755	1843491	1834273	1825102	1815977	1806897
Satış (USD/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,133	0,133
Satış gelirleri (USD)	372413	370550,9	368698,2	366854,7	365020,4	241524,9	240317,3
Bakım Teknik Bakım(USD)	12454	13699,4	15069,34	16576,27	18233,9	20057,29	22063,02
İnvertör yenileme	0	0	0	0	0	0	0
Enerji Geliri(USD)	359959	356851,5	353628,8	350278,4	346786,5	221467,6	218254,2

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Manisa İlinde farklı firmaların farklı modül teknolojileri ve invertör konseptleri ile aynı boyuttaki fotovoltaik santrallerin enerji üretim değerleri ve amortisman süreleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırılma gerçekleştirilirken, santral kurulumunda kullanılan malzemelerin yerli olup olmama durumuna göre, ayrı ayrı amortisman süreleri hesaplanmıştır. Devletin 5 yıl süreyle ek teşviklerle enerji alım yapması nedeniyle amortisman sürelerinin hesaplanması önem arz etmektedir. Sistem kurulumunda kullanılan malzemeler %100 ithal olması durumunda enerji alım fiyatı 13,3 cent, kullanılan malzemeler %100 yerli olması durumunda enerji alım fiyatı ilk 5 yıl için 20 cent olmaktadır. Burada amortisman süreleri yaklaşık 2 ile 2.5 yıl fark etmektedir. Sistemin ayrıntılı amortisman süreleri ay olarak Tablo 5.1.'de yer almaktadır.

Tablo 5.1. Tüm senaryolar için amortisman süreleri

İnvertör Markası	Fv Panel Markası	Yerli Sistem Amortisman Süresi (ay)	İthal Sistem Amortisman Süresi (ay)
Delta Solar Inverter	Axitec Monokristal	53	83
Delta Solar Inverter	Hanwha Monokristal	54	85
Delta Solar Inverter	Heckert Monokristal	48	74
Delta Solar Inverter	Axitec Polikristal	52	81
Delta Solar Inverter	Hanwha Polikristal	54	85
Delta Solar Inverter	Heckert Polikristal	47	73
ABB Solar Inverter	Axitec Monokristal	52	81
ABB Solar Inverter	Hanwha Monokristal	52	84
ABB Solar Inverter	Heckert Monokristal	50	77
ABB Solar Inverter	Axitec Polikristal	51	79
ABB Solar Inverter	Hanwha Polikristal	53	83
ABB Solar Inverter	Heckert Polikristal	49	77
SMA Solar Inverter	Axitec Monokristal	51	80
SMA Solar Inverter	Hanwha Monokristal	52	82
SMA Solar Inverter	Heckert Monokristal	49	75
SMA Solar Inverter	Axitec Polikristal	50	78
SMA Solar Inverter	Hanwha Polikristal	52	81
SMA Solar Inverter	Heckert Polikristal	49	75

Aynı invertör kullanımı durumlarında enerji gelirleri açısından en iyi sonuç Heckert monokristal panel kullanımıyla ön plana çıkmıştır. Polikristal paneller için farklılıklar görülmüştür.

Enerji üretimi açısından ekonomik analiz dikkate alınmadığı takdirde en verimli senaryo SMA invertör ve Heckert monokristal panel kullanımı olmakta iken, Tablo 5.1.'de yer alan bilgilere bakılarak amortisman süresi için en iyi sonuç Delta invertör ve Heckert polikristal kullanımıyla, %100 yerli ürün tercihinde 47 ay ve %100 ithal ürün tercihinde ise 73 aydır.

Diğer senaryolarda da sistemin amortisman süreleri 4 yıl ile 6 yıl arasında değişmektedir. Amortisman süresi hesabında yerli ve ithal ürün fiyatları eşit alınmıştır. Yerli ürün tercihinde, devlet teşviki sayesinde azalan amortisman süresi, yerli ürünlerin maliyetlerinin de ithal ürüne göre daha düşük olması sebebiyle daha fazla düşecektir.

Tespit edilen diğer bir önemli husus da PVsyst yazılımı benzetim sonuçlarına göre bazı marka panellerin monokristal ürünlerinin polikristal ürünlerine kıyasla daha fazla enerji üretimi sağlamasıdır. Ancak çalışmamızda en kısa amortisman süresini sağlayan senaryo polikristal panel yapısı kullanılan senaryodur.

Sistemin enerji üretim miktarını arttırmak için eksen takip sistemi kullanılabilir. Takip sisteminin lisanslı ve lisanssızsantral kurulumlarındaki farkları kullanımı araştırılabilir. Takip sisteminin maliyetli olması nedeniyle, sistem amortisman süresini geciktirdiği için daha yüksek güçlü sistemlerde kullanılması daha mantıklı olabilir.

Sistemin enerji üretim miktarını arttırmak için reflektör kullanılabilir. Reflektör kullanımı durumunda reflektörlerin maliyetinin de yatırım maliyetlerine ilave edilmesiyle amortisman sürelerinin hesaplanması mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa>, Erişim Tarihi: 28.11.2016.
- [2] Küpeli, A. ., Güneş pilleri ve verimleri. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [3] http://cimo-epc.com/G%C3%9CNE%C5%9E_PANEL%C4%B0.html, Erişim Tarihi: 17.12.16.
- [4] www.eie.gov.tr, Erişim Tarihi: 10.01.2017.
- [5] Girgin, M.H., Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretimini değerlendirilmesi ve ekonomik analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [6] Dolunay, G., Batuk, F., Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların cbs-oka yöntemi ile belirlenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 2011.
- [7] Eyigün, S., Türkiye'nin farklı bölgelerinde kurulabilecek fotovoltaik santrallerin teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [8] Mercan, O., Türkiye'de fotovoltaik (PV) oz mlerin pazarlanması. İstanbul Bilgi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [9] Alkan, S.,  zt rk, A., Zavrak, S., Tosun, S., Avcı, E., Bir evin elektrik enerjisi ihtiyaını karşılayacak fotovoltaik sistemin kurulumu. Eleco Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 2014.

- [10] Kayhan, V.A., Fotovoltaik santrallerin Türkiye'deki farklı iller için solar verimlilik ve finansal performans karşılaştırması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [11] Özkök, A., Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinde evsel elektrik ihtiyacının çatı üssü fotovoltaik sistemler ile karşılanmasının ekonomik analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, 2015.
- [12] Ekinci, M., Taşınabilir güneş takip sistemli pv panel dizaynı ve uygulaması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [13] Eruz, Ü.G., Güneş paneli çeşitlerinden polikristal, monokristal ve thin film panallerinin Karabük şartlarında verimlilik karşılaştırılması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [14] Aksungur, K.M. Kurban, M. Filik, Ü.B., Türkiye'nin farklı bölgelerindeki güneş ışınım verilerinin analizi ve değerlendirilmesi. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 2013.
- [15] Aguilar, L.A., Feasibility Study of Seveloping Large Scale Solar PV Project in Ghana: An Economic Analysis. Chalmers Universiyt Of Technology, Department of Elnergy and Environment, Master's Thesis in Sustainable Energy Systems, 2015.
- [16] Barman, J., Design and feasibility study of PV systems in Kenya. Chalmers Universiyt Of Technology, Department of Elnergy and Environment, Master's Thesis in Sustainable Energy Systems Programme, 2011.
- [17] Turhan, S. Çetiner, İ., Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi. 6. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa, 12-13 Nisan, Bursa, s.1-9, 2012.
- [18] Karamanav, M., Güneş Enerjisi ve Pilleri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [19] Türköz, M.S., Elektronik, Birsen Yayınları, İstanbul, 53-78, 2009.

- [20] Kınay, O., Bekiroğlu, N., Yumurtacı, Z. Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller). <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf>, Erişim Tarihi: 01.06.2016.
- [21] Grozdev, M., Alternatif enerji kaynakları: Güneş enerjisi ve Güneş pilleri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [22] <http://www.powerelectronics.com/solar/solar-system-efficiency-maximum-power-point-tracking-key>, Erişim Tarihi: 16.08.2017.
- [23] http://www.ktemo.org/uploads/documents/2309_gunes_pilleri_ve_gunes_enerji_sistemleri.pdf, Erişim Tarihi: 16.08.2017.
- [24] <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter05/chapter05.html>, Erişim Tarihi: 16.08.2017.
- [25] Köprü, M.A., Fotovoltaik sistemlerde kablo kayıplarının incelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [26] Boz, O.H., Günümüzün alternatif enerji kaynağı güneş piller. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [27] Beyoğlu, M.F., Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli pv sistemin verimlerinin karşılaştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [28] <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/yenilenebilir-enerjide-hibrid-sistemlerin-onemi/4326#ad-image-0>, Erişim Tarihi: 11.11.2016.
- [29] Bakıcı, F., Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Inverterler ve Seçim Kriterleri. 6. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri Kitabı, Kocaeli, 268-269, 2015.
- [30] <http://www.pvsyst.com/en/software/functionalities>, Erişim Tarihi: 11.11.2016.

ÖZGEÇMİŞ

Murat MALTAŞ, 14.05.1991'de Manisa'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Manisa'da tamamladı. 2009 yılında Manisa Fatih Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Elektrik Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Manisa'da Serbest Müşavir Mühendis (SMM) olarak iş hayatına devam etmektedir.