



**T.C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SIVAS İL MERKEZİ VE İLÇELERİNDE GÜNEŞ
ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN
EKONOMİK FİZİBİLİTESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fatih Yavuz ÖZYİĞİT
(20179240014)**

**Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Vekil Sarı**

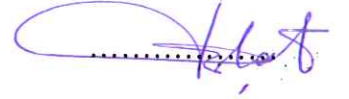
**SIVAS
TEMMUZ 2019**

Fatih Yavuz ÖZYİĞİT'in hazırladığı "SİVAS İL MERKEZİ VE İLÇELERİNDE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN EKONOMİK FİZİBİLİTESİ" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Jüri Üyesi **Prof. Dr. Ferhat DALDABAN**
Erciyes Üniversitesi



Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Yavuz TÜRKAY**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Fatih Yavuz ÖZYİĞİT, 2019

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir farklılık yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

08.07.2019

Fatih Yavuz ÖZYİĞİT

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam ve hayatımın her aőamasında bana inanan, güvenen, yanımda olan ve destekleyen aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmam boyunca deneyimlerinden ve bilgi birikiminden yararlandığım, değerli danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Vekil Sarı' ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmamda elinden gelen herőeyi yapan sevgili dayım Tiryaki Agro Gıda Mersin Bölge Müdürü Enver Tanrıverdioğlu' na ve fotovoltaik paneller hakkında tüm bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım güler yüzlü insan Sayın Rüştü Ataman' a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

ÖZET

SİVAS İL MERKEZİ VE İLÇELERİNDE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN EKONOMİK FİZİBİLİTESİ

Fatih Yavuz ÖZYİĞİT

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI

2019, 156+xvi sayfa

Bu çalışmada, geçmişten günümüze kullanılan enerji türleri, fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri ve verdiği zararlar, dünyada ve Türkiye’ de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretim oranları araştırılmıştır. Ayrıca, güneş radyasyonu, fotovoltaik modüllerin gelişimi, yapısı ve çalışma prensipleri, fotovoltaik sistem tipleri ve sistem bileşenleri de detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Sivas Merkez, Divriği, Gürün, Yıldızeli ve Zara ilçelerinde şebekeye bağlı, monokristal ve polikristal panellerden oluşan iki farklı tür güneş enerjisi santralinin ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Monokristal paneller kullanılarak oluşturulan güneş enerjisi santralleri için kurulu güç 10 MW, polikristal paneller kullanılarak oluşturulan güneş enerjisi santralleri için kurulu güç 9,999 MW olarak belirlenmiştir. Ayrıca Sivas ilinin tüm ilçelerinde, yıllık üretilebilecek elektrik miktarları incelenmiştir. Gerekli hesaplamalar için PVsyst programı kullanılmıştır.

Sonuç olarak, monokristal panellerin polikristal panellere göre daha verimli olduğu, ilk yatırım maliyetlerinin daha pahalı ve geri dönüş sürelerinin daha uzun olduğu tespit edilmiştir. Zara ilçesinde yapılan çalışmalarda ilk sekiz yıl boyunca kredi ve işletme giderleri ödenmemekte, geri kalan ilçelerde ise ödenmektedir. Ayrıca yıllık en fazla elektrik üretimi Gürün ilçesinde, yıllık en az elektrik üretimi ise Koyulhisar ilçesinde gerçekleşmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, PVsyst, Ekonomik Analiz.

ABSTRACT

ECONOMIC FEASIBILITY OF ELECTRICAL ENERGY GENERATION FROM SOLAR ENERGY IN SİVAS PROVINCE CENTER AND DISTRICT

Fatih Yavuz ÖZYİĞİT

Master Thesis

Department of Energy Science and Technology Engineering

Supervisor: Dr. Vekil SARI

2019, 156+xvi pages

In this study, the types of energy used from past to present, the remaining lifetimes and losses of fossil fuel reserves, electricity generation rates obtained from renewable energy sources in the world and in Turkey were investigated. In addition, solar radiation, the development, structure and operating principles of photovoltaic modules, types of photovoltaic systems and system components were described in detail.

In Sivas, Divriği, Gürün, Yıldızeli and Zara districts, the economic feasibility study of two different types of solar power plants consisting of monocrystalline and polycrystalline panels connected to the grid was carried out. The installed capacity of solar power plants using monocrystalline panels is 10 MW and the installed capacity of solar power plants using polycrystalline panels is 9,999 MW. In addition, the annual electricity generation in all districts of Sivas was examined. PVsyst program was used for required calculations.

As a result, it is found that monocrystalline panels are more efficient than polycrystalline panels, initial investment costs are more expensive and return time is longer. In Zara, credit and operating expenses are not paid during the first eight years, while in the rest of the districts they are paid. In addition, the maximum annual electricity generation is realized in Gürün district and the minimum annual electricity generation is realized in Koyulhisar district.

Keywords: Renewable energy, Solar energy, PVsyst, Economic analysis.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER DİZİNİ.....	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi

1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji.....	1
1.1.1 Çevre ve enerji.....	2
1.2 Literatür Araştırması	6
1.3 Fotovoltaik	9
1.3.1 Giriş	9
1.3.2 Elektromanyetik teori	11
1.3.3 Elektromanyetik dalgalar	12
1.4 Solar Radyasyon	15
1.4.1 Giriş	15
1.4.2 Güneş	15
1.4.3 Güneş radyasyon hesaplamaları	16
1.4.4 Karacisim radyasyonu	17
1.5 Solar Panel Parametreleri ve Eşit Devre	19
1.5.1 Solar panel parametreleri.....	19
1.5.2 Kuantum verimi.....	20
1.5.3 Eşdeğer devre	21
1.6 FV Teknolojisi	23
1.6.1 Kristal silisyum güneş pilleri.....	23
1.6.2 İnce film hücreler	24
1.6.3 3. Nesil kavramlar	24
1.6.3.1 Boya duyarlı hücreler	24
1.6.3.2 Organik hücreler	25
1.6.3.3 Perovskite hücreler	25
2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	27
2.1 Giriş.....	27
2.2 FV Sistem Çeşitleri	28
2.2.1 Şebekeden bağımsız sistemler.....	29
2.2.2 Şebekeye bağlı sistemler	30
2.3 FV Sistem Bileşenleri	31
2.3.1 Solar modül	31
2.3.2 Şarj regülatörü	31
2.3.3 İnvörtör	32
2.3.4 Transformatör	32
2.3.5 Akü	33
2.3.6 Dizi montaj rafları	34

2.3.7 Topraklama aletleri.....	35
2.3.8 Birleştirici kutu.....	35
2.3.9 Kablolar	35
2.4 Yer Seçimi.....	35
2.4.1 Giriş	35
2.4.2 Güneşe karşı pozisyon.....	36
2.4.3 Işıma	40
2.4.4 Gölge	42
2.5 FV Sistem Tasarımı	43
2.5.1 şebekeye göre tasarım.....	43
2.5.1.1 şebekeden bağımsız sistemler	43
2.5.1.2 şebekeye bağı sistemler	44
2.5.2 Yük profilleri.....	45
2.5.3 Meteorolojik etki	45
2.6 FV Sistem Ekonomi ve Ekoloji	46
2.7 Türkiye ve Güneş Enerjisi.....	47
3. MATERYAL VE METOT.....	50
3.1 Güneş Paneli Eğim Açısı	50
3.2 Güneş Panelleri Arasındaki Mesafe.....	50
3.3 PVsyst Programı	52
3.4 Proje Yer Seçimi.....	57
3.5 İklimsel Veriler	58
3.6 Tasarım	67
3.7 Maliyet Analizi	69
4. BULGULAR.....	71
5. SONUÇLAR.....	135
KAYNAKLAR	141
EKLER	146
Ek-1 Canadian Solar Güneş Paneli	147
Ek-2 Trina Solar Güneş Paneli.....	150
Ek-3 Kaco New Energy İvertör.....	153

ÖZGEÇMİş

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 2016 Yılı itibariyle kaynak bazında ülkemiz elektrik enerjisi Üretim Oranları	5
Şekil 1.2 FV Dizi Oluşumu	9
Şekil 1.3 FV hücre ışık-elektrik dönüşümü	10
Şekil 1.4 Elektromanyetik dalgalar	14
Şekil 1.5 Elektromanyetik spektrum	15
Şekil 1.6 Işınım şiddeti-dalgaboyu grafiği	18
Şekil 1.7 Plank Deneyi	18
Şekil 1.8 Kuantum Verimi	21
Şekil 1.9 Tek diyotlu bir FV hücresinin eşdeğer devresi	21
Şekil 1.10 Çift-diyotlu eşdeğer devre	23
Şekil 1.11 Boya duyarlı hücre çalışma ilkesi	25
Şekil 1.12 Perovskite kristal yapısı	26
Şekil 2.1 Plakalı güneş kollektörü kesiti	27
Şekil 2.2 Güneş pili atomik yapısı	28
Şekil 2.3 FV sistem çeşitlerinin	28
Şekil 2.4 FV direkt sistem	29
Şekil 2.5 Şebekeden bağımsız sistem blok diyagramı	29
Şekil 2.6 Batarya tabanlı hem AC hem DC yük çalıştırabilen sistem	30
Şekil 2.7 Batarya tabanlı şebekeye bağlı sistem blok diyagramı	30
Şekil 2.8 Şebekeye bağlı sistem blok diyagramı	31
Şekil 2.9 İnvvertör çevrimi	32
Şekil 2.10 İdeal transformatör	33
Şekil 2.11 Redoks tepkimesi	34
Şekil 2.12 Güneşe karşı parametreler	36
Şekil 2.13 Gelen radyasyonun emilim ve dağılması	42
Şekil 2.14 Modül üzerinde By-pass diyotlarının bağlanması	43
Şekil 2.15 Şebekeden bağımsız sistemlerin genel yapısı	43
Şekil 2.16 Şebekeye bağlı sistemlerin genel yapısı	44
Şekil 2.17 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası	48
Şekil 2.18 Türkiye global radyasyon değerleri	48
Şekil 2.19 Türkiye güneşlenme süreleri	49
Şekil 3.1 Paneller arasındaki mesafe	50
Şekil 3.2 Güneş yolu grafiği	51
Şekil 3.3 PVsyst programı giriş ekranı	52
Şekil 3.4 Ön tasarım sistem tipi seçim ekranı	53
Şekil 3.5 Coğrafi bölge parametreleri tanımlama ekranı	54
Şekil 3.6 Ön tasarım ekranı	54
Şekil 3.7 Proje dizaynı sistem tipleri	55
Şekil 3.8 Albedo ekranı	56
Şekil 3.9 Proje tasarım ekranı	56
Şekil 3.10 Gölgeleme analiz ekranı	57
Şekil 3.11 Ekonomik analiz ekranı	57
Şekil 3.12 Ekonomik fizibilite gerçekleştirilecek ilçeler	58

Şekil 3.13 Sivas/Merkez aylık ışıınım grafiği	59
Şekil 3.14 Sivas/Merkez aylık sıcaklık grafiği	59
Şekil 3.15 Sivas/Merkez aylık yağış grafiği	60
Şekil 3.16 Divriği aylık ışıınım grafiği	60
Şekil 3.17 Divriği aylık sıcaklık grafiği	61
Şekil 3.18 Divriği aylık yağış grafiği	61
Şekil 3.19 Gürün aylık ışıınım grafiği	62
Şekil 3.20 Gürün aylık sıcaklık grafiği	62
Şekil 3.21 Gürün aylık yağış grafiği	63
Şekil 3.22 Yıldızeli aylık ışıınım grafiği	63
Şekil 3.23 Yıldızeli aylık sıcaklık grafiği	64
Şekil 3.24 Yıldızeli aylık yağış grafiği	64
Şekil 3.25 Zara aylık ışıınım grafiği	65
Şekil 3.26 Zara aylık sıcaklık grafiği	65
Şekil 3.27 Zara aylık yağış grafiği	66
Şekil 3.28 Sivas ili güneşlenme haritası	66
Şekil 3.29 Kurulumu yapılacak arazi albedo değerleri	67
Şekil 3.30 Sabit eğik sistem ve optimum açđ	67
Şekil 3.31 Sistem tasarım ekranı	68
Şekil 4.1 Merkez sonuç ekranı (a)	71
Şekil 4.2 Merkez sonuç ekranı (b)	72
Şekil 4.3 Merkez sonuç ekranı (c)	73
Şekil 4.4 Merkez sonuç ekranı (d)	74
Şekil 4.5 Merkez sonuç ekranı (e)	75
Şekil 4.6 Merkez sonuç ekranı (a)	76
Şekil 4.7 Merkez sonuç ekranı (b)	77
Şekil 4.8 Merkez sonuç ekranı (c)	78
Şekil 4.9 Merkez sonuç ekranı (d)	79
Şekil 4.10 Merkez sonuç ekranı (e)	80
Şekil 4.11 Gürün sonuç ekranı (a)	81
Şekil 4.12 Gürün sonuç ekranı (b)	82
Şekil 4.13 Gürün sonuç ekranı (c)	83
Şekil 4.14 Gürün sonuç ekranı (d)	84
Şekil 4.15 Gürün sonuç ekranı (e)	85
Şekil 4.16 Gürün sonuç ekranı (a)	86
Şekil 4.17 Gürün sonuç ekranı (b)	87
Şekil 4.18 Gürün sonuç ekranı (c)	88
Şekil 4.19 Gürün sonuç ekranı (d)	89
Şekil 4.20 Gürün sonuç ekranı (e)	90
Şekil 4.21 Divriği sonuç ekranı (a)	91
Şekil 4.22 Divriği sonuç ekranı (b)	92
Şekil 4.23 Divriği sonuç ekranı (c)	93
Şekil 4.24 Divriği sonuç ekranı (d)	94
Şekil 4.25 Divriği sonuç ekranı (e)	95
Şekil 4.26 Divriği sonuç ekranı (a)	96
Şekil 4.27 Divriği sonuç ekranı (b)	97
Şekil 4.28 Divriği sonuç ekranı (c)	98
Şekil 4.29 Divriği sonuç ekranı (d)	99
Şekil 4.30 Divriği sonuç ekranı (e)	100
Şekil 4.31 Yıldızeli sonuç ekranı (a)	101

Şekil 4.32 Yıldızeli sonuç ekranı (b)	102
Şekil 4.33 Yıldızeli sonuç ekranı (c)	103
Şekil 4.34 Yıldızeli sonuç ekranı (d)	104
Şekil 4.35 Yıldızeli sonuç ekranı (e)	105
Şekil 4.36 Yıldızeli sonuç ekranı (a)	106
Şekil 4.37 Yıldızeli sonuç ekranı (b)	107
Şekil 4.38 Yıldızeli sonuç ekranı (c)	108
Şekil 4.39 Yıldızeli sonuç ekranı (d)	109
Şekil 4.40 Yıldızeli sonuç ekranı (e)	110
Şekil 4.41 Zara sonuç ekranı (a)	111
Şekil 4.42 Zara sonuç ekranı (b)	112
Şekil 4.43 Zara sonuç ekranı (c)	113
Şekil 4.44 Zara sonuç ekranı (d)	114
Şekil 4.45 Zara sonuç ekranı (e)	115
Şekil 4.46 Zara sonuç ekranı (a)	116
Şekil 4.47 Zara sonuç ekranı (b)	117
Şekil 4.48 Zara sonuç ekranı (c)	118
Şekil 4.49 Zara sonuç ekranı (d)	119
Şekil 4.50 Zara sonuç ekranı (e)	120
Şekil 4.51 Yıllık üretilen enerji	121
Şekil 4.52 Yatırım Maliyeti	121
Şekil 4.53 Santral ömrü boyunca satılan enerjiden getiri	122
Şekil 4.54 Akıncılar monokristal yıllık üretilen enerji	122
Şekil 4.55 Akıncılar polikristal yıllık üretilen enerji	123
Şekil 4.56 Altınyayla monokristal yıllık üretilen enerji	123
Şekil 4.57 Altınyayla polikristal yıllık üretilen enerji	124
Şekil 4.58 Doğanşar monokristal yıllık üretilen enerji	124
Şekil 4.59 Doğanşar polikristal yıllık üretilen enerji	125
Şekil 4.60 Gemerek monokristal yıllık üretilen enerji	125
Şekil 4.61 Gemerek polikristal yıllık üretilen enerji	126
Şekil 4.62 Gölova monokristal yıllık üretilen enerji	126
Şekil 4.63 Gölova polikristal yıllık üretilen enerji	127
Şekil 4.64 Hafik monokristal yıllık üretilen enerji	127
Şekil 4.65 Hafik polikristal yıllık üretilen enerji	128
Şekil 4.66 İmranlı monokristal yıllık üretilen enerji	128
Şekil 4.67 İmranlı polikristal yıllık üretilen enerji	129
Şekil 4.68 Kangal monokristal yıllık üretilen enerji	129
Şekil 4.69 Kangal polikristal yıllık üretilen enerji	130
Şekil 4.70 Koyulhisar monokristal yıllık üretilen enerji	130
Şekil 4.71 Koyulhisar polikristal yıllık üretilen enerji	131
Şekil 4.72 Suşehri monokristal yıllık üretilen enerji	131
Şekil 4.73 Suşehri polikristal yıllık üretilen enerji	132
Şekil 4.74 Şarkışla monokristal yıllık üretilen enerji	132
Şekil 4.75 Şarkışla polikristal yıllık üretilen enerji	133
Şekil 4.76 Ulaş monokristal yıllık üretilen enerji	133
Şekil 4.77 Ulaş polikristal yıllık üretilen enerji	134
Şekil 4.78 İlçelerin yıllık enerji üretimi	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Enerji birimleri ve Joule dönüşümleri	2
Çizelge 1.2 Bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretimleri	5
Çizelge 1.3 Santral Özellikleri.....	6
Çizelge 1.4 Maxwell denklemleri, genel küme	11
Çizelge 1.5 Maxwell denklemleri, serbest uzay kümesi	12
Çizelge 2.1 Bazı ülkelerin fv enerji kapasiteleri.....	46
Çizelge 2.2 Toplam FV kapasite bakımından ilk 10 ülke	47
Çizelge 3.1 Üretici ve Modeller	68
Çizelge 3.2 Kur dönüşümleri.....	69
Çizelge 3.3 Maliyet tablosu	69
Çizelge 3.4 Arazi Fiyatları.....	69
Çizelge 3.5 Yapılan Kabuller	70



SİMGELER DİZİNİ

J_c	İletim akımı, A
E_{kin}	Tek atomlu ortalama gazlar için kinetik enerji, J
G_a	Dizi düzlemine gelen ışınlama, W/m^2
H_b	Eğik panele gelen dik ışınım, W/m^2
H_n	Güneşten gelen ışınım, W/m^2
I_L	Fotoakım, A
I_{SC}	Kısa devre akımı, A
I_{bat}	Akü akımı, A
I_{load}	Yük akımı, A
I_{mp}	Maksimum güç noktasındaki akım, A
I_{pv}	FV generatör akımı, A
T_a	Ortam Sıcaklığı, °C
U_{pv}	FV generatör gerilimi, V
V_{OC}	Açık devre gerilimi, V
V_{bat}	Batarya Voltajı, V
V_{mp}	Maksimum güç noktasındaki voltaj, V
V_t	q/nkT ' ye eşit olan termal voltaj değeri, V
θ_A	Kuzeyden Ölçülen Azimuth Açısı, deg
θ_{el}	Ufuktan Ölçülen Yükseklik Açısı, deg
θ_z	Düşeyden Ölçülen Zenith Açısı, deg
a	Yükselme açısı, deg
B	Manyetik akı, T
c	Işık hızı, m/s
D	Elektrik akı yoğunluğu, C/m^2
E	Elektrik alan, V/m^2
k	Boltzmann sabiti, J/K
n	Diyod kalite faktörü
P	Basınç, Bar
q	Elektronun elektrik yükü, C
θ	Enlem, deg
φ	Azimuth açısı, deg
m	Kütle, kg
λ	Dalga boyu, m
δ	Güneşin sapma açısı, deg
ρ	Hacimsel yük yoğunluğu, C/m^3

KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif akım
BTU	: İngiliz ısı birimi
DC	: Doğru akım
DHI	: Dağınık yatay ışınım
DNI	: Doğrudan normal ışınım
FV	: Fotovoltaik
GHI	: Global yatay ışınım
HrA	: Saat açısı
JC	: Jülyen yüzyıl
JCE	: Jülyen efemeris yüzyılı
JD	: Jülyen gün
JDE	: Jülyen efemeris günü
JME	: Jülyen efemeris milenyumunu
RA	: Güneş yükselimi
STK	: Standart test koşulları
TAI	: Uluslararası atomik zaman
TDT	: Karasal zaman
Tep	: Ton eşdeğer petrol
TT	: Karasal zaman
UT	: Evrensel zaman
UT1	: Evrensel zaman
UTC	: Koordineli evrensel zaman
YEKDEM	: Yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması

1. GİRİŞ

1.1 Enerji

Enerji; insan, toplum ve çevre için önemli bir etmendir. Modern toplumlardan önce bile bir toplumun ekonomisini, kültürünü ve yaşayış biçimini etkilemiştir. İnsanlar ısınmak, yemek yapmak, aydınlanmak, savaş aleti yapmak gibi enerjiyi birçok şekilde kullanmışlardır. Yaklaşık 10 bin sene önce tarımın geliştiği zamanlarda insanlar hayvanları taklit ederek hayatlarına devam etmiş, yaklaşık 5-6 bin yıl önce rüzgâr; gemilerin hareket ettirilmesi için kullanılmış, 3-4 bin sene önce de rüzgâr ve su yardımı ile değirmenler hareket ettirilip tahıl öğütülmeye başlanmıştır. Gel-git olaylarından yararlanma ise yaklaşık bin yıl önceye dayanmaktadır. Uzun zamandır insanlık temiz ve sürdürülebilir enerjiden yararlanmaktadır. Endüstri devrimiyle su, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yerini fosil kaynaklar almıştır, icat edilen buhar makineleriyle uzun mesafelere ulaşımın kolaylaşması, petrol ve gazın yakıt olarak kullanılmaya başlaması içten yanmalı motorlardan direk kuvvet elde edilmesi veya dolaylı kullanım ile elektrik elde edilmesi fosil kaynaklara olan rağbeti ve sanayileşmeyi daha da artırmaktadır [1]. Günümüzde; enerji, savaşların ana sebebini oluşturmakta ve devlet politikalarını belirlemektedir. Enerji kullanımı ve elde yöntemleri artık gelişmiş bir uygarlık göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Enerji ile ilgili girdi ve çıktılara bakmadan önce enerjinin fiziğini anlamak daha mantıklı bir yaklaşım olacaktır. Çoğu insan terim anlamını bilse de gerçek doğasını az sayıda insan tam olarak anlayabilmektedir. Genel olarak günlük dilde iş, güç, yakıt gibi kelimelerin yerine kullanılmakta ve hata yapılmaktadır. Fizikçi ve mühendis için bu terim bir örnekleme yoluyla daha iyi anlaşılabilen özel bir kavramdır. 1 kg' lik bir ağırlık düşünürsek bu ağırlığı 1 m yukarı kaldırmak için birisi veya makineler tarafından bir iş yapıldığını anlamak gayet mümkündür. Bu ağırlığı kaldırmak için sisteme çalışma dâhil edilmiştir. Bu çalışma enerji olarak ifade edilmektedir; 1m yukarıdayken yüzeydekine göre daha yüksek bir enerji seviyesindedir. Yani bir Joule (J); bir nesneye 1 Newton (N)' luk bir kuvvet etki ettiğinde kuvvet yönünde 1 m hareket eden çalışma olarak tanımlanabilir [2].

Enerji fiziğin temel büyüklüklerinden olup, doğrudan ölçülemeyen iş yoluyla veya enerji türüne göre birtakım hesaplamalarla belirlenebilmektedir. Albert Einstein kütle ile orantılı olduğunu Eşitlik 1.1' de tanımlamıştır.

$$E = m \times c^2 \quad [1.1]$$

Bu eşitlikte;

E = enerji ($\text{kgm}^2/\text{s}^2 = \text{Nm} = \text{J}$)

m = kütle (kg)

c = hızdır (m/s).

Enerji bir sistemin ne kadar iş veya ısı transferi yapabileceğini belirleyen bir durum fonksiyonu olup, Uluslararası birimler (SI) sisteminde birimi ise Joule (J)' dur. Enerji yok edilemez, bir biçimden diğer biçimlere dönüştürülebilir [3]. Aşağıdaki çizelgede Enerji birimleri Joule dönüşümleri verilmiştir.

Çizelge 1.1 Enerji birimleri ve Joule dönüşümleri [3]

Enerji Birimi	Tanımı	Dönüşümü
Kilowattsaat (kWh)	1 saat süresinde tüketilen enerji	1kWh = $3,6 \times 10^6$ J =3.6 MJ
İngiliz ısı birimi (BTU)	1 atmosfer basınç altında 453,6 g suyun sıcaklığını 63°F'den 64°F'ye çıkartmak için gerekli olan enerji miktarıdır.	1 BTU= 252 cal 1 BTU=1055,07 J 1 BTU=0,000293 kWh
Termi (Therme)	Gaz üretim endüstrisinde kullanılan bir birimdir.	1 therme= 10×10^4 BTU 1 therme= 1.055×10^8 J
Ton eşdeğer petrol (TEP)	Petrol endüstrisinde kullanılan bir birimdir.	1 TEP= $4,5 \times 10^{10}$ J
Varil (Barrel)	Petrol endüstrisinde kullanılan bir birimdir.	1 TEP =7,5 varil 1 varil= 6×10^9 J
Kalori (cal)	Atmosfer basıncında, 1 g suyun sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli olan enerji miktarıdır.	1 cal= 4.184 J

1.1.1 Çevre ve enerji

Tarihin eski çağlarından beri toplumsal üretimin ana girdisi olan yenilenebilir enerji, farklı enerji kaynaklarının keşfi ile modern üretim toplumlarında kullanılan enerjinin küçük bir kısmını oluşturmaktadır [4]. Bunun ana sebepleri arasında olası ve istenen üretimsel çıktı miktarının fazla olması sebebiyle kullanılması beklenen enerji miktarının

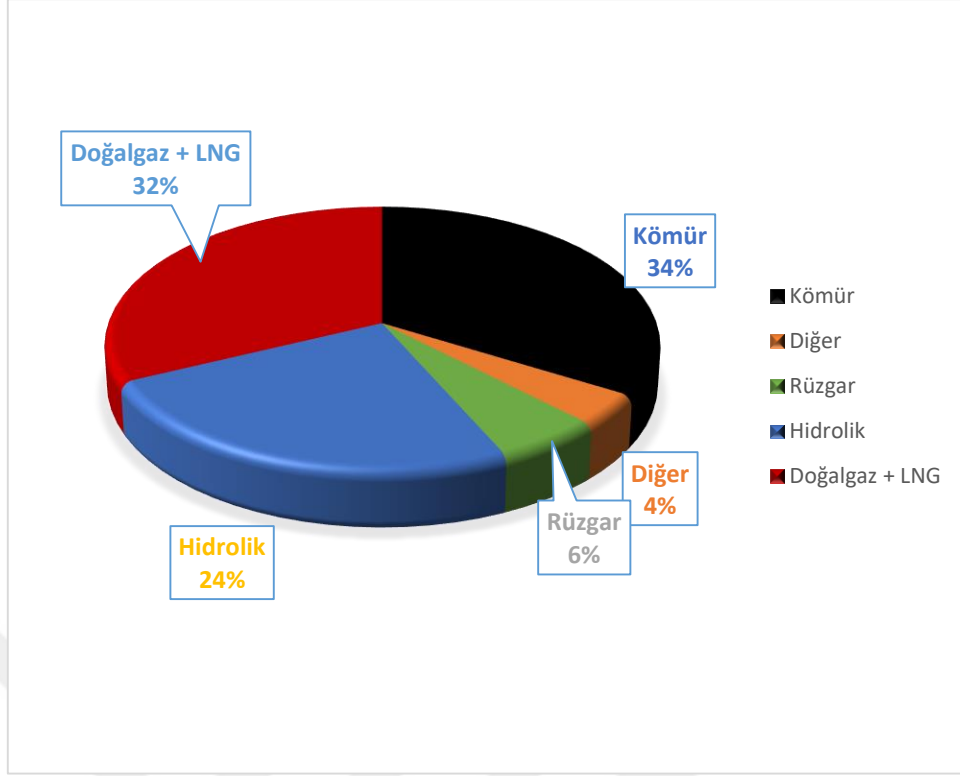
da bu bağlamda artmasıdır. Diğer bir ifade ile yenilenebilir enerji kaynaklarından yüksek miktarda enerji verimliliği sağlanamayacağı düşüncesi endüstriyel üretim toplumlarının enerji girdilerini fosil yakıtlar, nükleer enerji ve bunların türevlerine yönlendirmektedir. Fakat 1992 yılında Brezilya'nın Rio kentinde gerçekleşen çevre ve geliştirilmesi hakkındaki Rio deklarasyonunda iklim değişikliğinin ana sebebi olarak görülen fosil yakıtların, bu yakıtların yerini yenilenebilir enerji kaynaklarının alması gerektiği ve ülkelerin bu konuda gerekli tedbirleri alarak bu kaynakların kullanımını artırması gerekliliğinin bir zorunluluk olduğu vurgulanmıştır [5]. Bu konferanslar ve diğer toplantılar her ne kadar dünyamızın geleceği ve yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirlik açısından en çok vurgulanan konusu olmasına rağmen bu önlemlerin hayata geçirilmesinde en önemli tetikleyici toplumun bu konudaki eğilimleridir. Beggs'e (2009) göre bunun ana sebebi; toplum enerji tüketimine odaklanırken, bu enerjinin nasıl ve nerden elde edildiği konusunda ve bu durumun dünya için nasıl bir tehdit olabileceği ihtimalini unutmaz [2].

Artan nüfus ve gelişmiş bir ekonomi enerji talebi doğurmakta ve bu talep fosil kaynaklar aracılığıyla genel olarak bırakacağı zararlar düşünülmeden giderilmeye çalışılmaktadır. Fosil yakıtlar sera gazı emisyonlarına sebebiyet vermekte ve sera gazı emisyonları günümüz en önemli sorunlarından olan küresel ısınmaya neden olmaktadır. Son 30 yılımızın her biri 1850 yılından bu yana geçen her 10 yıldan fazla ısınmaktadır, Kuzey Yarımkürede 1983-2012 yılları arası son 1400 yılın en sıcak bölümüydü. Sanayi öncesi devirde 0,8°C ila 1,2°C arasında değiştiği tahmin edilen küresel ısınma mevcut oranlarda devam ederse 2030 ve 2052 yılları arasında 1,5°C ye ulaşması öngörülmektedir. Küresel ısınma; kara ve denizlerde ortalama sıcaklıklara, bazı bölgelerde aşırı sıcaklıklara, tropik siklonlarla ilişkili olan ağır yağışların daha da artmasına, taşkınlara, deniz seviyesinde artışa, karada tür kaybı ve yok oluş gibi biyolojik çeşitlilik ve ekosistemlere geri dönüşü olmayan etkilere neden olmaktadır [6,7]. Ülkemizin de taraf olduğu Kyoto protokolü ve Paris anlaşması ile küresel ölçekte iklim değişikliğiyle bir mücadele başlatılmıştır, gelecek nesiller ve insan olmanın bir gereği olarak hepimize yüksek bir görev düşmektedir.

Eski çağlardan beri insanlığın kullanmış olduğu temiz ve sürekli olan yenilenebilir enerjiye geçilmesi enerji ihtiyacımızın karşılanmasında ve çevreyle uyumlu olması bakımından daha ideal bir yöntemdir. Yenilenebilir enerji İngiltere 'Yenilenebilir Enerji Tavsiye Grubu' (Renewable Energy Recommendation Group) tarafından çevrede

sürekli var olan hareketleri kapsayan enerji türü olarak belirtilmektedir. Bu tür hareketlerin kökeninde ise güneş, dünyanın hareketi ve yer çekimi bulunmaktadır. Güneş enerjisi doğrudan ısı olarak, dolaylı olarak elektrik üretimi için kullanılmasının yanında rüzgâr, dalga, nehir, gel-git salınımları, biyo-kütleden de elektrik enerjisi elde edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretimi için fosil kaynaklara göre daha pahalı olmakla beraber, fosil kaynakların çevreye bıraktığı zararlar düşünülmediğinden bir bakıma yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin önüne geçilmiştir, ancak çevreye verilen kirlenici zararların fiyatlandırmada düşünülmemesi bu pahalılığın bir nedenidir [1]. Ayrıca dünyamızda 2013 yılı üretim miktarları baz alınarak 114 yıllık kömür, 53 yıllık doğalgaz ve 51 yıllık petrol rezervi bulunmaktadır [8]. Ülkemizde ise 2017 yılı baz alınarak günde ortalama 49 bin v/g ham petrol üretimine karşılık 550 bin v/g ham petrol tüketimi gerçekleşmiş, doğalgaz da ise bu durum 2008 yılında 1 milyar m³ olan üretimimiz 2017 yılında 354 milyon m³ e düşmüştür ve doğalgaz ithalatına bağımlılığımız %99,4' tür [9]. Bu verilerden hareketle dünyamızda fosil kaynakların tükenmekte olduğu görülmektedir. Ülkemiz ise fosil kaynaklara olan bağımlılığı yüksek miktarlarda olduğundan ve üretim miktarı tüketim miktarını karşılayamadığından dolayı enerjiye bağımlı bir ülke konumunda bulunmaktadır.

Ülkelerin fosil kaynakların tükenmekte olması, bu tür kaynakların çevreye verdiği zararların geriye döndürülememesi göz önünde bulundurularak kendi yenilenebilir enerji potansiyellerine göre yatırımlarını yapmaları gerekmektedir. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça elverişli bir konumda bulunmaktadır, bu kaynaklara olan yatırımlar hem büyük miktarlarda dışa bağımlılığımızın önüne geçecek hem de çevreye verilen zararların azalmasını sağlayacaktır. Şekil 1.1' de ülkemizin kaynak bazında elektrik enerjisi üretim oranları gösterilmektedir.



Şekil 1.1 2016 Yılı itibariyle kaynak bazında ülkemiz elektrik enerjisi Üretim Oranları [8]

Ülkeler genel olarak fosil kaynaklara dayalı elektrik üretimi yapmakta yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi fosil kaynaklara göre daha az miktarlarda gerçekleşmektedir. Fosil kaynaklar arasında ise elektrik üretimi için kömür daha fazla oranda kullanılmaktadır. Çizelge 1.2 de bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretim oranları verilmektedir.

Çizelge 1.2 Bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretimleri [8]

ÜLKE	KÖMÜR	PETROL	DOĞAL GAZ	NÜKLEER	YENİLENEBİLİR ENERJİ	DİĞER
FRANSA	%2.1	%0.3	%2.3	%77.6	%17.5	%0.2
ALMANYA	%45.4	%0.9	%9.9	%15.5	%28.0	%0.3
ABD	%39.5	%0.9	%26.8	%19.1	%13.6	%0.1
KANADA	%9.9	%1.2	%9.3	%16.4	%62.8	%0.3
ÇİN	%72.5	%0.2	%2.0	%2.3	%23.0	%0.0
HİNDİSTAN	%75.1	%1.8	%4.9	%2.8	%15.5	%0.0
RUSYA	%14.9	%1.0	%50.1	%17.0	%17.0	%0.0
DÜNYA	%40.6	%4.3	%21.6	%10.6	%22.9	%0.1

1.2 Literatür Araştırması

Genel olarak fosil kaynak kullanımının yıllardır önüne geçilememiştir. Fosil kaynak kullanımı sonunda meydana gelen sera gazları, çevreye geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmuş ve kimi ülkeler elektrik üretiminin önemli bir kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaya başlamıştır. Ülkemizde ise büyük oranlarda fosil kaynaklara olan bağımlılık ve yenilenebilir enerji kaynakları bakımından yüksek potansiyelimizin kullanılmaması araştırmacıların ilgisini çekmiş ve birçok çalışma yapılmıştır.

Taktak ve İli yaptığı çalışmasında, Uşak iline 36 km mesafede olan Derbent köyünde 24.100 m²' lik bir araziye güneş enerjisi santrali için fizibilite çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Kurulu gücü 1950 kWe olarak 25° sabit açılı taşıyıcı sisteme göre sistemin ışınım ve elektrik üretim değerlerini PVGIS verileri yardımıyla hesaplamışlardır. Yıllık 3.150.000 kWh elektrik üreteceğini sistemin ömrünün 25 yıl olduğu ve 15 yıl kâr edeceğini öngörmüşlerdir [10].

Koçak yaptığı çalışmasında, Büyükçekmece ilçesinde 4 farklı panel ve 2 farklı invertör kombinasyonlarından oluşan 5,5-6 MW arası değişen kurulu güce sahip güneş enerji santrallerinin analizlerini FV*SOL programı yardımıyla gerçekleştirmiştir. Çizelge 1.3' de yapılan çalışmadaki santral özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 1.3 Santral Özellikleri

	SİSTEM GÜCÜ (kWp)	FV ENERJİSİ (kWh)
A Grubu	5910,12	7.883.216
B Grubu	5910,12	7.741.128
C Grubu	5923,48	7.949.466
Ç Grubu	5923,48	7.814.579
D grubu	5642,1	7.554.702
E Grubu	5642,1	7.448.640
F Grubu	5868,92	8.065.670
G Grubu	5868,92	7.997.193

Yapılan güneş enerji santralinin ekonomik analizi için iç karlılık oranı ve geri ödeme süresi hesabını yapmıştır. Yaptığı ekonomik modelleme sonucu olarak en verimli sistemin Ç grubu olduğunu gözlemlemiştir [11].

Küçükgoze yaptığı çalışmasında, Erzincan ili için tasarladığı 50 kW kurulu gücünde güneş enerjisi santralinin ekonomik analizini incelemiştir. Sistem analizi için PVsyst

programını kullanmıştır. Panellerin eğim açısı 32° , azimuth açısı 0° olarak tasarlanan sistemde ışınlım miktarı 1.481 kWh/m^2 olarak ve çalışma koşullarında $44,5 \text{ kW}$ güç program tarafından bulunmuştur. Şebekeye yıllık 70.459 kWh verilmekte, yatırım maliyeti $76.641 \$$ hesaplanmış ve yıllık net gelir $8.915,5 \$$ olarak bulunmuştur [12].

Kahraman yaptığı çalışmasında, Kütahya ili için 1 MW 'lık; güneş enerjisi santrali ve rüzgâr enerjisi santralinin fizibilite çalışmasını gerçekleştirmiştir. Çalışmasını gerçekleştirirken RETScreen ve Homer programlarını kullanmıştır. Çalışmasında %50 özsermaye ve %100 özsermaye olmak üzere iki farklı durumu incelemiştir. Güneş enerjisi santrali için ilk senaryoda yatırım maliyetlerinin yarısı olarak kredi kullanımında 11 yıl geri ödeme süresi ve $56.467 \$$ net bugünkü değer ve iç kârlılık oranını %11.9 olarak hesaplamakta, yaptığı ikinci senaryosunda ise maliyetlerin tamamı sermayeden karşılanırsa geri ödeme süresi 11 yıl, net bugünkü değer $-13.624 \$$, iç kârlılık oranı ise %9.8 olarak hesaplanmaktadır. Yaptığı bu çalışmalarda iki senaryonunda uygulanabilir olduğu ve ilk senaryonun daha mantıklı olduğunu vurgulamıştır [13].

Çolak yaptığı çalışmasında, belirlenen bir fotovoltaik panel ile yıllık global radyasyon miktarı farklı olan 5 farklı bölgede enerjinin birim maliyet hesaplarını gerçekleştirmiş ve bu 5 bölgeye 10 MW 'lık kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinden elde edilen elektrik enerjisi miktarını, santralin yatırım maliyetlerini hesaplamıştır. Bu hesaplamaları PVsyst programı ile gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışmasında Türkiye' de günün koşullarında yeterli olmayan teşvikler nedeniyle yatırımcıya zarar ettireceğini fakat Almanya ve İspanya' da ise uzun vadede kâr ettikleri ortaya çıkmıştır. Monokristal panel kullanımının polikristal panellere göre daha fazla enerji eldesi getirdiğini ve maliyetinin de arttığı sonucuna varmıştır [14].

Keskin yaptığı çalışmasında, Dünya' da ve Türkiye' de bulunan 7 il için şebekeden bağımsız 5 kW 'lık sistem modellemesi gerçekleştirmiştir. Bu modellemeler için PVsyst programını kullanmıştır. Elde edilen sonuçlarda enlemin üretilen enerjiye etkisi gözlemlenmektedir. En yüksek verime monokristal modüller sahip olsa da yapılan çalışmada amorf silikon teknolojili modüllerde en yüksek üretim değerine ulaşılmıştır. Sistem maliyeti monokristal, polikristal ve amorf silikon teknolojili modüllerde 19 ile 24 yıl arasında sistemin sağladığı enerjinin, elektrik toplam maliyetine denk geleceği hesaplanmıştır [15].

Atakul ve ark. yaptığı çalışmada, Diyarbakır bölgesinde verimlilik, yenilenebilir enerji kullanımının artması vs. amacıyla buldukları kuruma 250 kWp gücüne sahip güneş enerjisi santrali kurulumu gerçekleştirerek elektrik giderlerinin önemli bir oranda azaltılmasını hedeflemektedir. Bunun için kurum içerisinde 3500 m² alana 245-255 W arasında değişen polikristal panellerle bir güneş tarlası oluşturulmasını planlamışlardır. Elde edilen enerjinin kurum trafosu üzerinden aktarımı sağlanacaktır. Planladıkları sistem 6 yılda kendini amorti etmektedir [16].

Girgin yaptığı çalışmada, Karaman bölgesinde 5 MW gücünde 36 farklı sistemin enerji üretimi ve ekonomik analizini yapmıştır. Sistemler; 32° panel eğimine sahip sabit eğik sistemler, tek eksen sistemler, çift eksen sistemler olarak gerçekleştirilmiş ve hesaplamalar PVsyst programı aracılığıyla yapılmıştır. Tek eksen güneş takip sistemlerinde %24' e kadar bir artış ve çift eksen takip sistemlerinde ise %35' e kadar bir artış gözlemlenmiştir [17].

Çekirdek, Konya ve Balıkesir' de yaptığı çalışmada 0.883 kWh güce sahip şebeke bağlantılı sistem tasarlamıştır. Sabit eğik sistemler, tek eksen ve çift eksen sistemler ayrı ayrı incelenmiştir. Sistemler PVsyst programı yardımıyla hesaplanmıştır. Sistemlerde maliyetle orantılı olarak elde edilen enerji miktarı artmaktadır. En fazla elde edilen enerji çift eksenli sistemlerden sağlanmaktadır. İki şehir arasında güneşlenmeye bağlı olarak geri dönüş süreleri aralarında 1 yıl fark etmekte ve Konya' da daha erken geri dönüş sağlanmaktadır [18].

Tekkale yaptığı çalışmada, ışıınım değerleri farklı olan bölgelerde 1140,48 kWp kurulu güce sahip güneş enerjisi santrallerinin yapılabirlik durumlarını PVsyst programı ile hesaplamıştır. GES' lerde yatırım belirli bölgelere yapılmakta ve arazi fiyatı buralarda artmaktadır. Yaptığı çalışmada en hızlı geri dönüş, ışıınım değeri en yüksek olan şehir Şanlıurfa' da olmuştur. En uzun geri dönüş ise Ankara' da olmuştur. Kurulum maliyetleri ile şehirler arasındaki geri dönüş süresi 1 yıl kadardır [19].

Aldudak yaptığı çalışmada, kurulu bir güneş enerjisi santralinden elde edilen sonuçları PVsyst programı hesaplamalarıyla karşılaştırmıştır. Program çıktıları ile güneş enerjisi santral verileri arasındaki tutarlılığı vurgulamıştır. Yatırımcılara fikir vermesi amacıyla farklı bölgeler için PVsyst programı ile simülasyon çalışması gerçekleştirmiştir [20].

1.3 Fotovoltaik

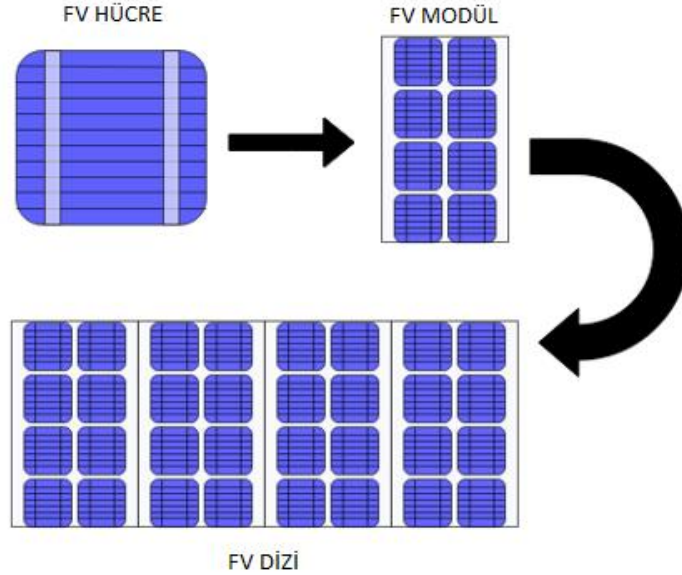
1.3.1 Giriş

Fotoelektrik etkiyi ilk olarak fizikçi Edmund Bequerel, 1839 yılında bazı materyallerin ışığın altında azda olsa elektrik akımı ürettiğini keşfetmiş, 1905 yılına gelindiğinde Albert Einstein ışığın doğası ve fotoelektrik etkiyi tanımlamış ve bunun üzerinden Nobel fizik ödülünü kazanmıştır. İlk fotovoltaik modül ise Bell laboratuvarlarında yapılmış, pahalılığın dolay başlarda yaygın olarak kullanılamamış ve uzay endüstrisinde ilk ciddi kullanımı gerçekleşmiştir [21].

Bazı maddeler ışık fotonlarını emerek elektronları serbest bırakan bir özelliğe sahiptir ve bu elektronlar yakalandığında elektrik akımı oluşmaktadır, yani ışığın atomik seviyelerde doğrudan doğruya elektriğe dönüşümüne fotovoltaik denmektedir [21].

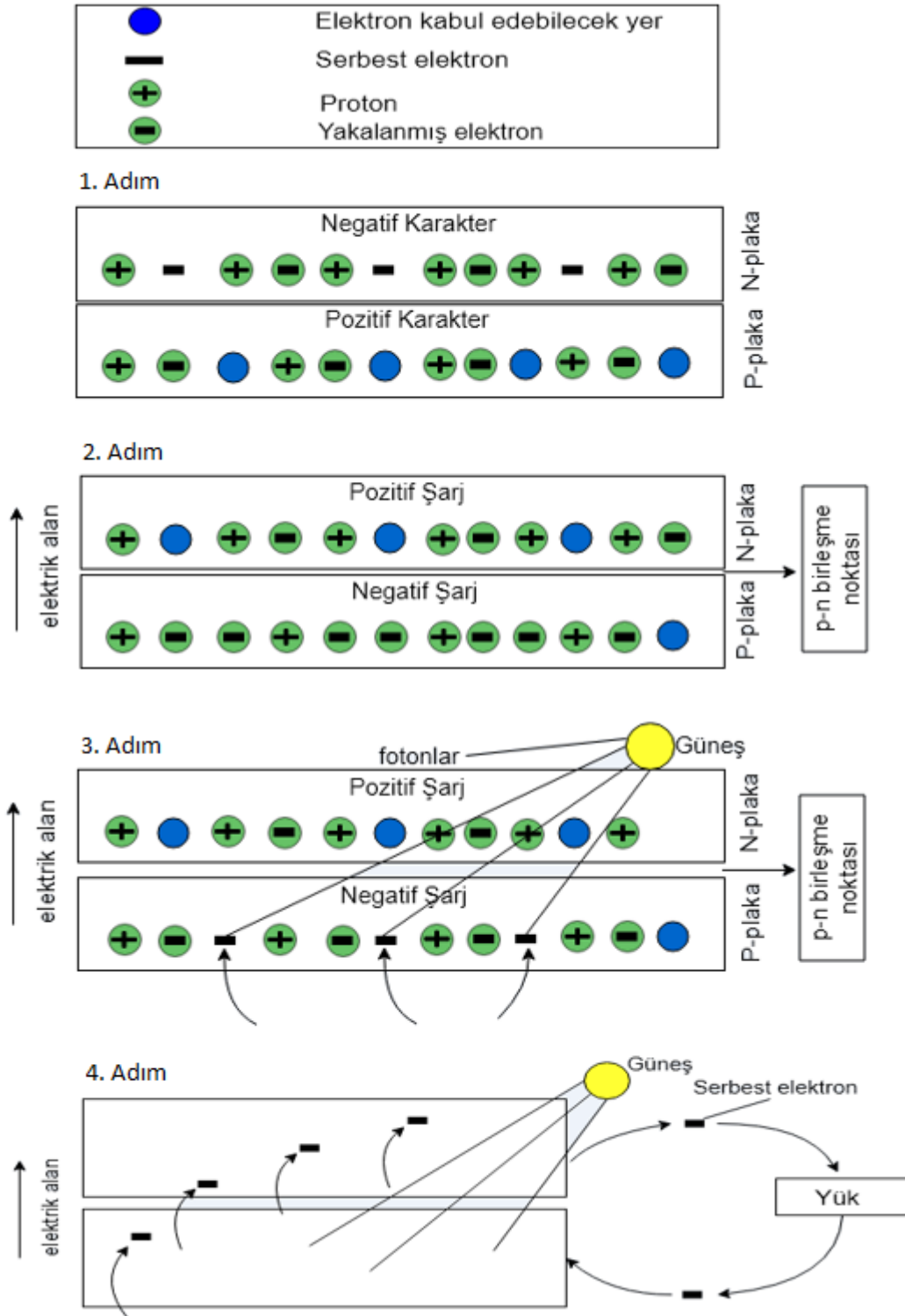
Güneş pilleri diğer birçok elektronik sektöründe kullanılan silikon gibi yarı-iletken malzemelerden üretilmektedir. Elektrik alanı oluşturmak için bir tarafında pozitif diğer tarafında negatif, ince ve çok özel devre plakası işlenir. Işık enerjisi güneş piline çarptığında iletkenler pozitif ve negatif tarafa bağlı olduğunda bir elektrik devresi oluşacak ve akım meydana gelecektir [21].

Şekil 1.2 de FV hücreler gösterilmektedir.



Şekil 1.2 FV Dizi Oluşumu [22]

Güneş pilleri ışığı emerek elektrik enerjisi vermekteler. FV panellere gelen ışığın elektrığe dönüşümü Şekil 1.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 FV hücrelerdeki ışık-elektrik dönüşümü [23]

1.3.2 Elektromanyetik teori

Geçtiğimiz yüzyıllarda biriken deneysel kanıtlar; Coulomb' un elektrik yüklü cisimler arasındaki kuvvet yasasını belirlemesi, Ampère' in devre elemanları arasındaki etkileşimi, Faraday' ın değişken manyetik alanlarda oluşan etkileri bulması bu alandaki ilerlemelerdendir. Maxwell' in 'Elektrik ve Manyetizma Üzerine Bir İnceleme' adlı kitabında belirttiği model günümüze dek elektromanyetik olayların açıklanmasında daha baskın bir etkiye sahiptir. Maxwell bu incelemesinde Faraday' ın tek bir bakış açısıyla elektrik ve manyetik olayların bağlantılı hesabını sunmak istemiş ve Weber, Kirschhoff gibi bilim insanlarının hipotezlerine pek yer vermemiştir. Maxwell daha sonra adıyla anılacak bu denklemler de Elektromanyetik olayların açıklandığını göstermektedir [24]. Maxwell kendinden önce bulunan bu denklemleri daha ileri bir noktaya götürmüş, vektör analizi yöntemiyle daha sistemli bir şekilde açıklamıştır ve günümüzde bu denklemler bütün elektromanyetik teorinin temelini oluşturmaktadır. Çizelge 1.4' de Maxwell denklemleri belirtilmiştir.

Çizelge 1.4 Maxwell denklemleri, genel küme [25]

Noktasal Biçim	İntegral Biçimi
$\nabla \times H = J_c + \frac{\partial D}{\partial t}$	$\oint H \cdot dl = \int_S (J_c + \frac{\partial D}{\partial t}) \cdot dS$ (Ampère Yasası)
$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$	$\oint E \cdot dl = \int_S (- \frac{\partial B}{\partial t}) \cdot dS$ (Faraday yasası; S sabit)
$\nabla \cdot D = \rho$	$\oint D \cdot ds = \int_V \rho \cdot dv$ (Gauss Yasası)
$\nabla \cdot B = 0$	$\oint B \cdot ds = 0$ (Monopolün yokluğu)

İletim akımının olmadığı ($J_c = 0$) ve hiçbir yükün olmadığı ($\rho = 0$) durumda bu denklemler Çizelge 1.5' deki biçimi alırlar.

Çizelge 1.5 Maxwell denklemleri, serbest uzay kümesi [25]

Noktasal Biçim	İntegral Biçimi
$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t}$	$\oint H \cdot dl = \int_s \left(\frac{\partial D}{\partial t} \right) \cdot dS$
$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$	$\oint E \cdot dl = \int_s \left(- \frac{\partial B}{\partial t} \right) \cdot dS$
$\nabla \cdot D = \rho$	$\oint D \cdot ds = 0$
$\nabla \cdot B = 0$	$\oint B \cdot ds = 0$

Bu tablolarda belirtilen denklemlerde E elektrik alanı, H manyetik alanı, D akı yoğunluğu ve J_c iletim akımını belirtmektedir. Serbest Uzay kümesindeki noktasal biçim denklemleri örneğin; E zamanın fonksiyonu ise $D = \epsilon_0 E$ de zamanın bir fonksiyonu olacak yani kısmi türevi sıfırdan farklı olacaktır. Birinci ve ikinci denklemlerde elektrik alanının ve manyetik alanın bağımsız var olamayacakları belirtilmektedir [25].

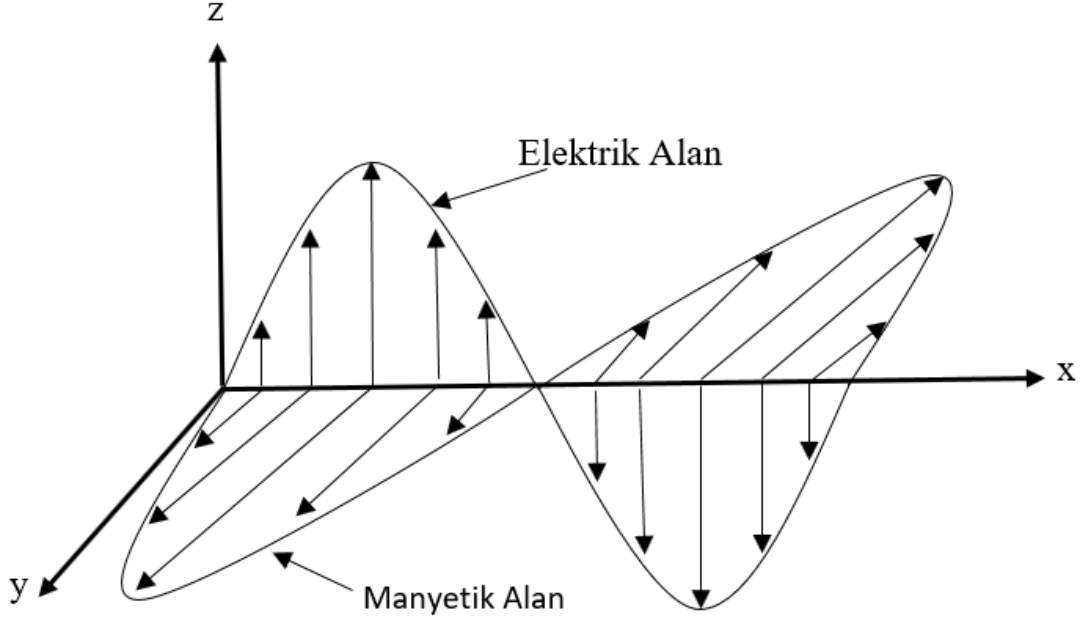
1.3.3 Elektromanyetik dalgalar

Bilim genellikle insanın doğayı anlamaya çalıştığı, bir merakla başlayan sistematik olarak ilerleyen her elde edilen bulgunun deneylerle gözlemlendiği kesin bir sonuca varmanın günler, haftalar, yıllar bazen yüzyıllar aldığı bir emek zinciridir.

19. yüzyıla gelindiğinde Joseph Louis Lagrange bilinen her bilim insanının hız, enerji, kuvvet ve atalet ile ilgili çalışmalarını yazmış olduğu kitabında derlemiştir. Lagrange sabit bir hızda cisim enerjisinin mv^2 'ye eşit olduğunu belirtmiş, ardından analitik mekaniği açıklamak için ivmenin hız için birim zamanda gerçekleştiğini varsaymıştır. Lagrange matematiksel fonksiyonlarla rezonans dinamiklerini de ele almıştır. Gaspard - Gustave de Coriolis mühendislik kitaplarında Lagrange' nin çalışmalarından fazlasıyla yararlanmış. Coriolis, Lagrange' nin hızlanma ile görüşlerinin anlık etkilerinin dikkate alınmadığını vurgulamış ve kinetik enerji kavramını açıklamıştır. James Clerk Maxwell tarafından temel fizik kitabı kaleme alınmış ve kinetik enerji yanlış bir şekilde özetlenmiştir. Bu sırada tıp pratiğinin itibarının korunması için başka bir bilim insanı olan Thomas Young birçok anonim makale yayımlamış ve kendine göre en büyük bilimsel başarısı çift yarık deneyine dayanarak ışık dalga teorisini ortaya atmıştır. Young' ın ışığın dalga benzeri raporları Newton' un ışık parçacık teorisinin terk edilmesine yol açmış ve ışığın küçük parçacıklardan ve sürekli dalgalardan oluştuğu görüşü önem kazanmıştır. Sonraları disiplinler arası bir bilim adamı olan ve kışlada

cerrahlık yapan Hermann von Helmholtz kurbağalar üzerindeki biyomekanik deneyleri enerjinin korunumu ve dönüşümü olan büyük tezine yol açmış ve termodinamiğin ilk yasası olmuştur; enerji yaratılmamış ve yok edilmemiştir yalnız korunmuş ve form değiştirmiştir. Berlin Üniversitesindeyken Maxwell' in teorik Elektromanyetik dalgalarının varlığını kanıtlamak için Hertz' le bir rekabete girmiş fakat bunu Hertz başarmıştır. Elektromanyetik dalgaların yeni ismi dalgaları iletmek ve almak için yaptığı rezonans işlemlerden dolayı 'rezonanslı Hertz dalgaları' olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmaları Max Planck bir taraftan düzenli çalışma enerjisi üretebilecek rezonans dalgaları ve rastgele kaotik tarafından üretilen elektromanyetik dalgalar olarak modellemiştir [26].

İnsanoğlu maddeyi üç boyutsal algısı, yapısı, yoğunluğu gibi özellikleriyle tanımlamaktadır. Yoğunluğu genellikle katı, sıvı ve gaz halleriyle, sıcaklığını temelinde atom ve molekül hareketleriyle algısında oluşturmaktadır. Görebildiğimiz elektromanyetik spektrum da gözün ışık ile etkileşimiyle madde renklerinin oluşmasıdır. Modern fizikte atomlar pozitif yüklü proton, yörüngede dolaşan negatif yüklü elektron ve yüksüz nötronlardan oluşmaktadır. Bu atom altı parçacıklar dalga teorisine uygun ve hareket eksenlerinde üç boyutta dönmektedirler. Yüklerden ve manyetik momentten dolayı elektromanyetik alana sahiptirler. Parçacık ve dalga, ışık ve radyasyonun iki şekli olmakla beraber parçacık olarak iki parça aynı zaman anında aynı yerde olamaz fakat dalgasal olarak bir kütle barındırmadığından ışık hızıyla yayılıp aynı yerde olabilirler. Elektromanyetik dalgalar; elektrik ve manyetik dalgalardan oluşmakta ve bu dalgalar birbirine dik olarak bulunmaktadır [27]. Şekil 1.4' te elektromanyetik dalgalar gösterilmektedir.

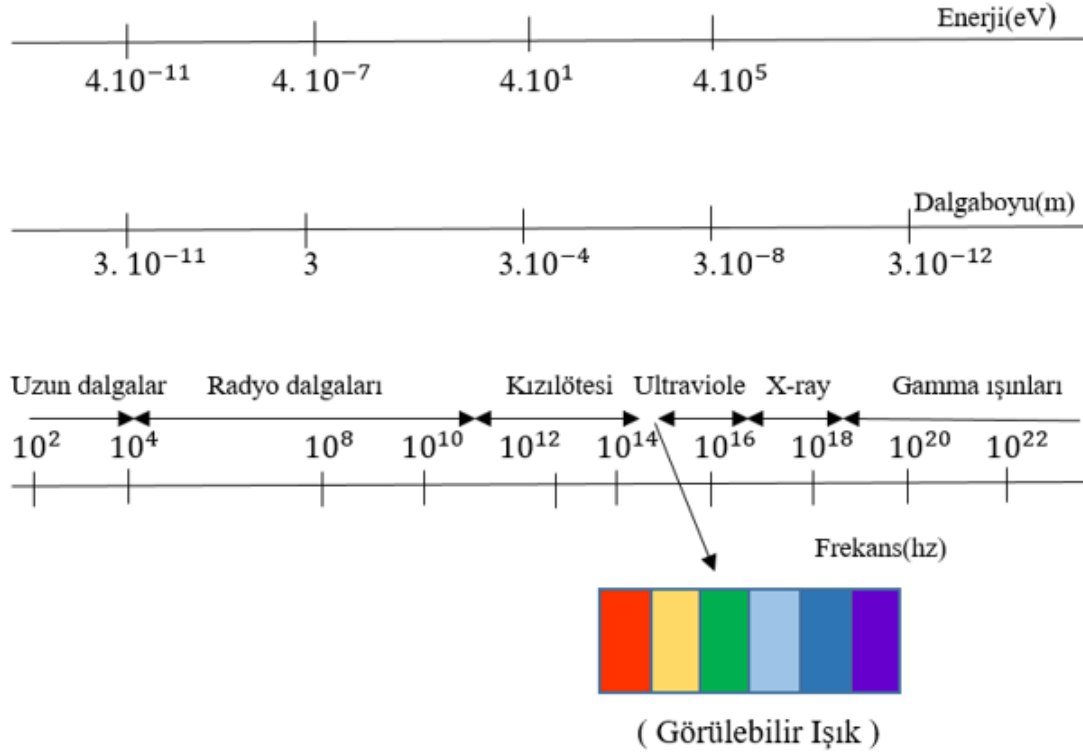


Şekil 1.4 Elektromanyetik dalgalar [27]

Elektromanyetik dalgalar ışık hızında uzayda hareket ederler. Eşitlik 1.2' de gösterilmiştir.

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad [1.2]$$

Bu denklem şu şekilde ifade edilebilir, belirli bir ortamdaki veya vakumlanmış bir ortamdaki ışığın hızı sabit olduğundan düşük frekanslı elektromanyetik dalgaların boyu uzun, yüksek frekanslı elektromanyetik dalga boyları ise kısadır. Bu denklemde f frekansı, c ışık hızını, λ ise dalga boyunu ifade etmektedir. Elektromanyetik spektrum çok yüksek dalga boylarına sahip çok düşük frekanslı enerjiden, kısa dalga boylarına kadar olan tüm çeşitli elektromanyetik enerji formlarını içermektedir [28]. Elektromanyetik spektrum logaritmik bir skalaya sahip olup Şekil 1.5' de gösterilmektedir.



Şekil 1.5 Elektromanyetik spektrum [29]

1.4 Solar Radyasyon

1.4.1 Giriş

Güneş radyasyonu, güneş tarafından yayılan elektromanyetik radyasyonu ifade etmek için kullanılan genellikle güneş kaynağı olarak adlandırdığımız bir terimdir. Dünyadaki her yer yılın bir kısmında güneş ışığına maruz kalmaktadır. Dünyaya ulaşan güneş ışınımının miktarı; coğrafi konum, günün zamanı, mevsim, yerel hava durumu gibi etmenlere göre değişebilmektedir. Dünya yuvarlak olduğundan dolayı güneş 0° ve 90° arasındaki açılarda yüzeye vurmaktadır [30]. Dik vurduğu yerler daha sıcak, eğik vurduğu yerler ise daha soğuk olmaktadır. Yani sıcak yerler daha fazla enerjiye sahip soğuk yerler ise daha az enerjiye sahip olurlar. Ekvatordan kutuplara doğru bu açı küçülmektedir. Ekvatorda 90° olan bu açı kutuplarda 0° olmaktadır.

1.4.2 Güneş

Güneş ve güneş sisteminin geri kalanı yaklaşık 4.5 milyar yıl önce çok büyük aynı zamanda dönen bir gaz ve toz bulutundan oluşurken güneş bulutsusu olarak isimlendirilmiştir. Bulutsu ezici ağırlığı nedeniyle çökmüş ve daha hızlı dönerek bir disk gibi basılaşmıştır. Materyalin çoğu merkezde kalarak yaklaşık yüzde 99,8' i Güneşi oluşturmuştur. Güneş ve onu çevreleyen herşey Samanyolu Galaksisi' nde

bulunmaktadır. Güneş sistemimiz saatte 720.000 km hızla dönmekte ve bu hızla bile Samanyolu Galaksisi' nde bir yörüngeyi tamamlaması 230 milyon yıl sürmektedir. Güneş, Dünyadan yaklaşık 150 milyon kilometre uzaklıkta, atom sayısı olarak yüzde 91 hidrojen, yüzde 8,9 helyumdan oluşmakta, kütlece ise yaklaşık yüzde 70,6 hidrojen, yüzde 27,4 helyumdan oluşmakta ve 27 milyon derece Fahrenheit yani 15 milyon santigrat derece sıcaklığa sahip olan sarı cüce bir yıldızdır [31].

Güneş Enerjisi, çekirdeğinde gerçekleşen füzyon süreciyle meydana gelen ışınım enerjisidir. Aslında termonükleer tepkimeler sonucunda hidrojenin üç atom ağırlığındaki helyum izotoplarıyla, orijinal helyuma dönüşmesiyle oluşur. 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Dünyaya gelen güneş enerjisi 0.1-3 µm arasında değişen dalgaboylarındaki ışıklardan oluşmaktadır. Işınlara, Güneş ile dünya arasında 8 dakikada kat eder ayrıca güneşten dünyaya 1.7×10^{11} MW ısı gücü gelmektedir [3].

1.4.3 Güneş radyasyon hesaplamaları

Meteoroloji istasyonları standart olarak yatay yüzeye gelen ışınımın hesabını tutmaktadırlar. Uygulamalarda verimin yüksek olması için düz paneller iyi bir açıda yerleştirilmelidirler. Yatay yüzey üzerindeki düz panele gelen dik ışınım H ile güneşten gelen ışınım H_n ile gösterilirse arasındaki bağıntı :

$$\frac{H}{H_n} \quad [1.3]$$

olmaktadır.

Bu veriler eğik bir panel için olursa ve eğik panel üzerine gelen dik ışınım H_b ile gösterilirse:

$$H_b = H_n \cos \theta_T \quad [1.4]$$

ve bir önceki formüldeki değerler yerlerine konulursa:

$$H_b = H \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} \quad [1.5]$$

elde edilir.

Bu denklemden R dönüşüm katsayısı ise

$$R = \frac{H_b}{H} = \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} \quad [1.6]$$

yani

$$H_b = HR \quad [1.7]$$

elde edilmektedir [27].

1.4.4 Karacisim radyasyonu

20. yüzyılın başındaki klasik deterministik fiziğin belirgin bir şekilde çökmesiyle kuantum mekaniği ve görelilik gibi modern fizik ortaya çıkmıştır. Klasik fizikteki çöküş klasik fizik kullanılarak ama çözülemeyen birkaç paradokstan kaynaklanmaktadır. Bunlardan bazıları;

- Karacisim radyasyonunun ultraviyole felaketi: sonsuz enerji,
- Elektromanyetik dalgalar taşıyan bir ortam olarak bir eterin bulunmaması

Bunlar Maxwell denklemlerinde ışığa bağlanmış paradokslardır. Teorik bilim çelişkili formüllerden kaynaklı aynı anda hem doğru hemde yanlış olabilmektedir. Planck bu çelişkileri bir sonuca vardırarak amacıyla Maxwell denklemlerinde deterministik bir dalga olayı olan ışık kavramından Newton'un ışık tanecik teorisine yani foton adındaki enerji parçacıkları ya da quanta istatistiğinin tanımlanmasına giden bir karar almıştır [32].

1900' lü yıllarda ışık hızı büyük bir doğrulukla, bir mol gazdaki avagadro sayısında kabaca bir değer olarak biliniyordu. Karacisim ışımaya yasası problemleri, fotoelektrik olay problemleri gibi problemler dönemin fizikçilerine klasik fiziğin çıkmazını göstermiştir. Karacisim ışımalarını anlayabilmek için ısı ve sıcaklık gibi kavramlara hakim olmamız gerekmektedir. Bu kavramlar büyük hacimli madde davranışını açıklarken işimize yaramaktadır. Isı; makroskobik boyutta atomların hareketiyle alakalı yani bir cisimden diğerine aktarılan ısısal enerjidir. Sıcaklık ise her maddenin kendi özgü özelliklerinden ayrı olarak yapıtaşlarının hareketleriyle orantılıdır; sıcaklık 0° K iken gelişigüzel bütün hareketler durmaktadır. Tek atomlu ideal bir gazın bir molü için:

$$PV = \frac{2}{3} N_0 E_{kin} \quad [1.8]$$

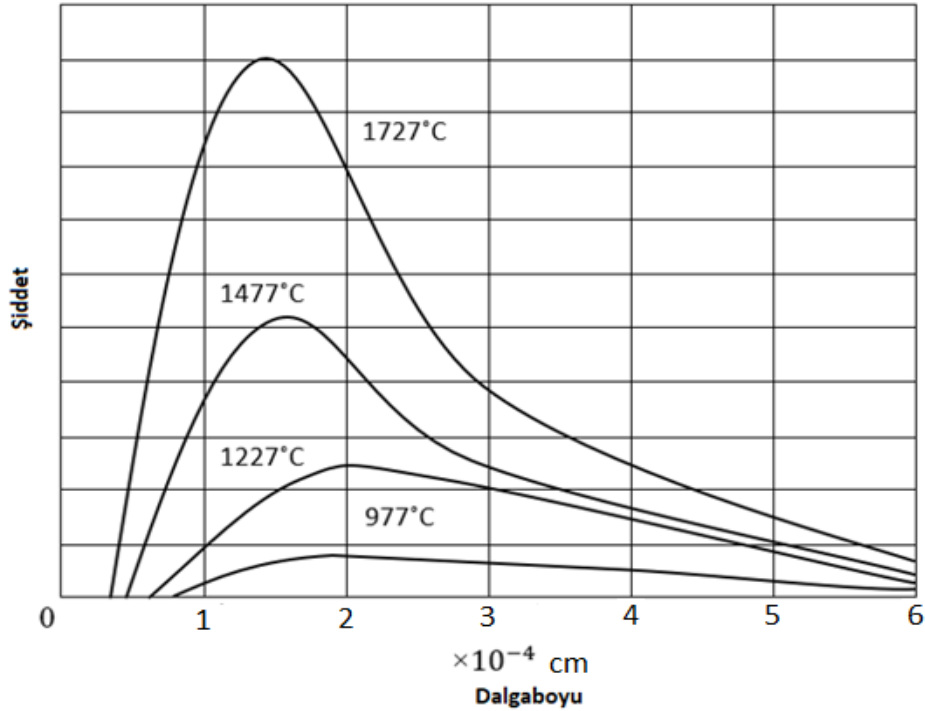
burada P Basınç, V kabın hacmi ve E_{kin} tek atomlu ideal gazlar için ortalama kinetik enerjidir.

Şimdi ise ortalama kinetik enerji:

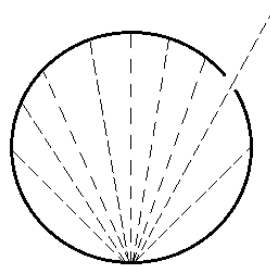
$$E_{kin} = \frac{3}{2} kT \quad [1.9]$$

olmaktadır.

Burda ise k Boltzmann sabiti olarak bilinmektedir. Karacisim ışımasına gelirse yüksek sıcaklıktaki bir cismin yüzeyi her frekansta veya dalga boyunda ışık yaymaktadır. Olayı anlamak için sabit sıcaklıktaki kapalı bir maddesel yüzeyin çeperi üzerindeki ufak bir delikten çıkan ışınım incelenirse delikten çıkmakta olan ışınımın şiddetinin dalga boyuna göre grafiği Şekil 1.6' da gösterilmiştir [33].



Şekil 1.6 Işınım şiddeti-dalgaboyu grafiği [33]



Şekil 1.7 Plank Deneyi [33]

Şekil 1.7' de Plank deneyi gösterilmektedir. Dışarıdan bakan bir gözlemciye göre iç yüzeyi bir soğurucu olan oyuğun duvarındaki küçük delik karacisim yüzeyidir. Üzerine gelen ışınımın tamamına yakını soğurmaktadır. Delikten içeri bir ışınım gelince bir kısmı çeper tarafından soğrulur, bir kısmı ise dağılmaya uğramaktadır ve dağılmaya uğrayan kısım tekrar çepere gelince tekrar soğurulmaktadır. Bu şekilde ışınımın ya çok küçük bir kısmı tekrar delikten çıkmakta veya hiç çıkamamaktadır. Max Planck 1900 yılının başında karacisim ışınım yasasının çıkarılışını sundu ve ışınım şiddetini dalga boyu ve sıcaklığın bir fonksiyonu yaparak klasik fizikten dışarı çıkmış oldu. Planck ışınım yasası:

$$E(\lambda.T) = \left(\frac{8\pi hc}{\lambda^5} \right) \times \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} \quad [1.10]$$

Burada:

$E(\lambda.T)$, oyukta birim dalga boyu aralığına düşen yoğunluk (T sıcaklığı ve λ dalga boyu için), k, Boltzman sabiti; c ise ışık hızıdır [33].

Karacisim tüm olay radyasyonlarını emen bir şey olarak tanımlanabilir. Karacisim radyasyonun temel bir yönünü 1000°C deki demir yığınınından 6000°C deki güneşten veya 37°C deki insan vücudundan yakalayabilir. Planck deneyinde gözlem deliğinden enerji kuantum/fotonların istatistiklerini temel alan karacisim radyasyon yasasının kanıtında kullanmış ve radyasyonu emen, yayan ileri geri hareket eden fotonlarla dolu olduğunu farketmiştir [32].

1.5 Solar Panel Parametreleri ve Eşit Devre

1.5.1 Solar panel parametreleri

Işınım altında bir güneş hücresinde elektriksel alanında etkisiyle elektron boşlukları oluşmakta bu boşluklarda aydınlanma foto-akımına (I_L) sebebiyet vermektedir. Oluşan bu foto-akım dışardan zıt yönde bir voltaj dahi uygulansa içerden akmaya devam etmektedir (I_{SC}). Daha fazla ışık daha fazla elektrik alanı sağlamak ve daha fazla elektron hareket etmektedir. Yani ışık etkisiyle foto-akım değişmektedir. Net akım ise diyot tarafındaki karanlık akım (I_D) farkından bulunmaktadır [27].

a) Kısa Devre Akımı(I_{SC})

İki terminal birbirine doğrudan bağlandığında ve gerilim sıfır iken akım en yüksek değerindedir. Bu durum kısa devre akımı olarak adlandırılmaktadır. Bu akım ışık kaynaklı taşıyıcı üretim ve toplanmasından kaynaklı olmaktadır [34].

b) Açık Devre Gerilimi(V_{OC})

Hücre bir yüke bağlı olmadığında akım akmaz ve FV hücresindeki voltaj en yüksek seviyesine ulaşmaktadır. Bu duruma açık devre gerilimi denmektedir. Yük bağlanırsa akım akar ve voltaj azalmaktadır [34].

c) Dolum Faktörü(FF)

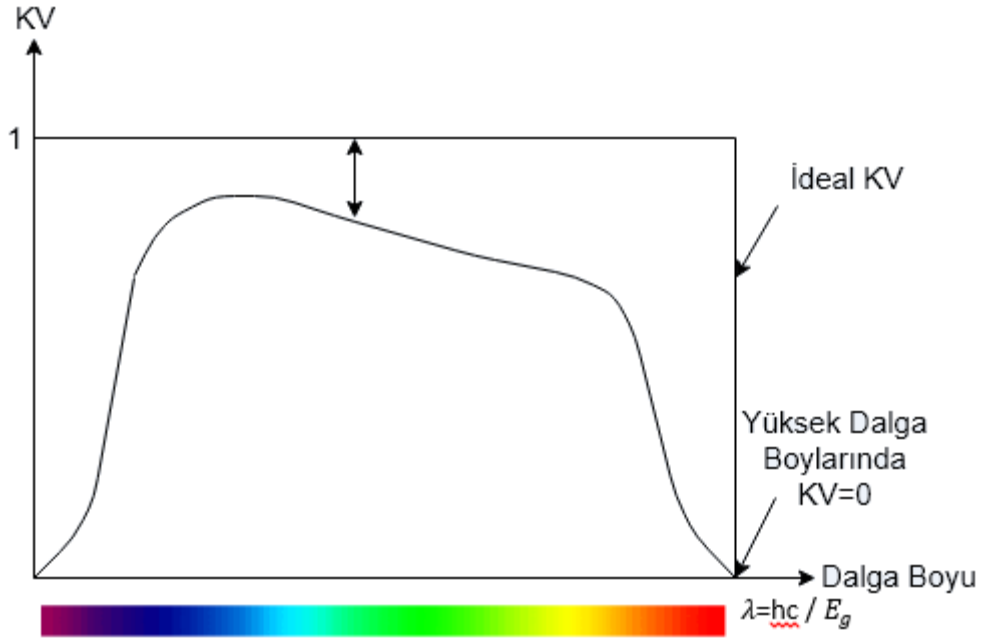
Hücre içindeki bağlantılarla ve bağlantı direncinin düşük olmasıyla alakalı I-V grafiğindeki keskinlik ölçüsüdür [13]. Hücre kalitesi dolum faktörüyle ölçülür iyi bir hücre için 0.7-0.8 arasında kötü panel için ise 0.4 olabilir [34].

$$FF = \frac{V_{mpp} I_{mpp}}{V_{OC} I_{SC}} \quad [1.11]$$

Şimdiye kadar olan yöntemlere göre araştırmacılar genelde 4, 3, 2 hatta bir tane parametreye odaklanmıştı. Foto-akım I_L hücre sıcaklığından etkilenen I_0 ile belirlenmekte ve n, R_s , R_{sh} sabit kalmaktaydı. Bazı araştırmacılar bu 5 parametrenin belirlenmesini sağlayacak yöntemler belirlemektedir [35].

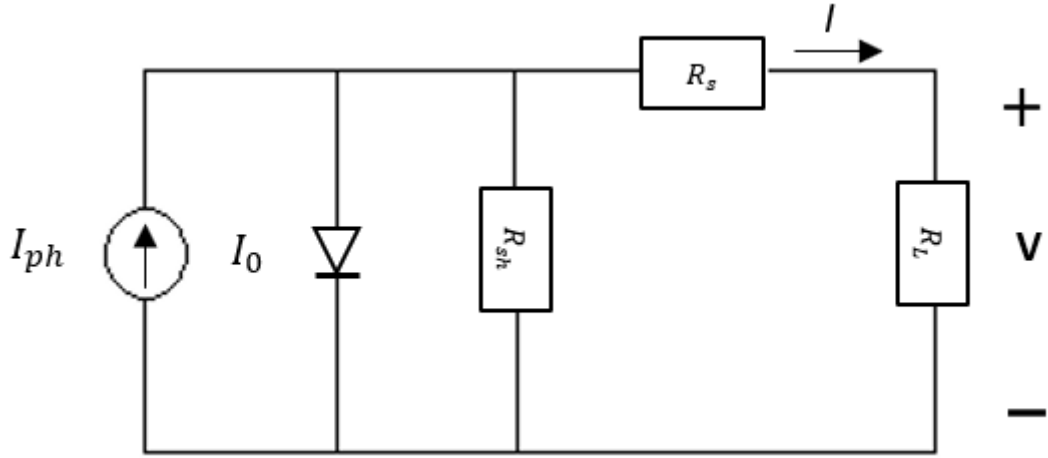
1.5.2 Kuantum verimi

Güneş piline gelen fotonlar ve yük taşıyıcıları arasındaki orandır. Şekil 1.8' de kuantum verimi gösterilmektedir.



Şekil 1.8 Kuantum Verimi [27]

1.5.3 Eşdeğer devre



Şekil 1.9 Tek diyotlu bir FV hücresinin eşdeğer devresi [35]

Şekil 1.9’ da akım üreten kaynak, diyot ve şönt direnç paralel olarak bağlanmıştır. İdeal durumlarda kaçak akımı azaltmak için büyük bir şönt direnç olduğu düşünülmektedir. Küçük değerli seri direnç üzerinden foto-akım akmakta ve FV modülüne elektrik üretmektedir. Bu dirençlerin hesaplanması birçok etmene bağlı ve karmaşık hesaplar gerektirmektedir. Lambert W fonksiyonuyla veriler deneysel ölçümlerle büyük bir uyum sağlamaktadır [36].

Seri direnç ;

$$\frac{aV_t V_{mp}(2I_{mp}-I_{sc})}{(V_{mp}I_{sc}+V_{oc}(I_{mp}-I_{sc}))(V_{mp}-I_{mp}R_s)-aV_t(V_{mp}I_{sc}-V_{oc}I_{mp})} = \exp\left(\frac{V_{mp}+I_{mp}R_s-V_{oc}}{aV_t}\right) \quad [1.12]$$

Lambert W fonksiyonu kullanılırsa

$$R_s = A \left(W_{-1}(B \exp(c)) - (D + C) \right) \quad [1.13]$$

Burada :

$$A = \frac{aV_t}{I_{mp}} \quad [1.14]$$

$$B = - \frac{V_{mp}(2I_{mp}-I_{sc})}{(V_{mp}I_{sc}+V_{oc}(I_{mp}-I_{sc}))} \quad [1.15]$$

$$C = - \left(\frac{2V_{mp}-V_{oc}}{aV_t} \right) + \frac{V_{mp}I_{sc}-V_{oc}I_{mp}}{(V_{mp}I_{sc}+V_{oc}(I_{mp}-I_{sc}))} \quad [1.16]$$

$$D = \frac{V_{mp}-V_{oc}}{aV_t} \quad [1.17]$$

Şönt direnç denkleminde Lambert W fonksiyonunu uygularsak:

$$R_{sh} = \frac{(V_{mp}-I_{mp}R_s)(V_{mp}-R_s(I_{sc}-I_{mp}))-aV_t}{(V_{mp}-I_{mp}R_s)(I_{sc}-I_{mp}))-aV_t I_{mp}} \quad [1.18]$$

Bir FV hücresinde üretilen akım dirençlerle alakalıdır ve aşağıda FV akım ifadesi verilmiştir [36].

$$I_{pv} = \frac{R_{sh}+R_s}{R_{sh}} I_{sc} \quad [1.19]$$

Burada :

V_{mp} : Maksimum güç noktasındaki voltaj

I_{mp} : Maksimum güç noktasındaki akım

I_{sc} : Modülün kısa devre akımı

R_s : Seri rezistans

R_{sh} : Şönt rezistans

V_{oc} : Panelin açık devre voltajı

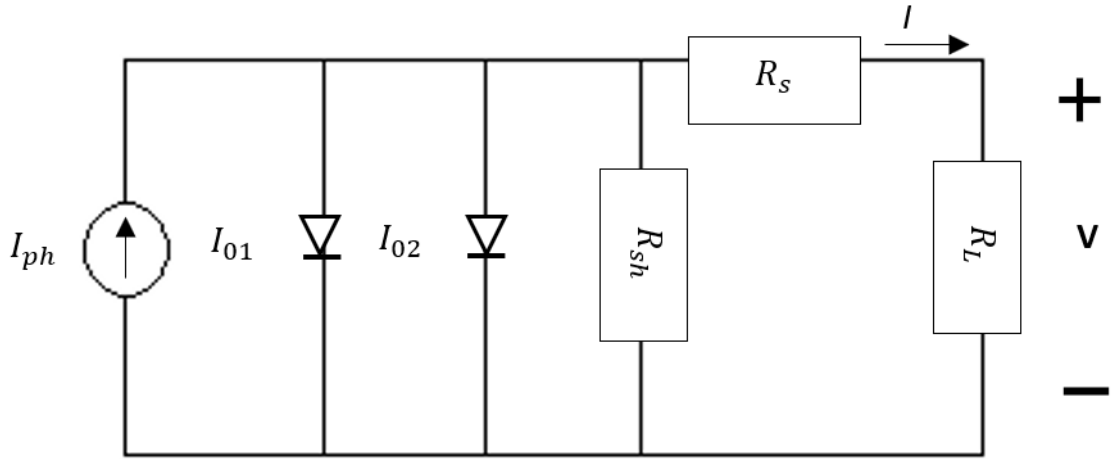
V_t : q/nKT ' ye eşit olan termal voltaj değeri

K : Boltzman sabiti

n : Diyot kalite faktörü

q : Elektronun elektrik yükü

T : FV hücre sıcaklığı



Şekil 1.10 Çift-diyotlu eşdeğer devre [35]

FV hücresindeki foto-akımın yalnız tek bir diyot tarafından değil birbirine bitişik ve yüzey boyunca tabakalara dağılmış diyotların genel etkisiyle üretildiği, akımın her bir diyottan geçtiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [37].

1.6 FV Teknolojisi

1.6.1 Kristal silisyum güneş pilleri

Silisyum doğada oksijenden sonra en fazla bulunan element olmasının yanında elektriksel, optik ve yapısal özelliklerini uzun süre muhafaza edebilmesi tercih sebeplerindedir. Genelde silisyum doğada kum ve kuvars biçiminde bulunmaktadır. Kumun saflık derecesi çok düşük olduğundan pek tercih edilmemektedir. Kuvarsın ise yüzde 90' ı silisyum olup işlendikten sonra yüzde 99 saflıkta silika elde edilebilmekte ve silikadanda silisyum elde edilmektedir. Tek kristalli hücrelerin maliyeti fazla olduğundan elde edilen silisyum saflaştırılarak çok kristalli yarı-iletken özellikli silisyum elde edilmektedir. Silisyum hücrelerinin yansıma kayıplarını azaltması ve metal arka kontaklarının iyi bir yansıtıcı olması ışığın daha etkin yakalanmasını sağlayan yapısal özellikleridir. 2009 yılının sonunda pazarın yüzde 80' ni kristal silikon

hücreler oluşturmaktadır. Tek kristal, çok kristal ve emitörü sarılı tip şeklinde olmaktadır [3].

Tek kristalli hücrelerin verimi laboratuvar ortamlarında yüzde 24-30 arası olup seri üretilen elemanlarda yüzde 15-17 arası değişmektedir, yarı kristal hücrelerin verimi yüzde 14, şerit kristalli hücrelerin verimi yüzde 13-16 arası değişmekte ve çok kristalli hücrelerin verimi laboratuvar koşullarında yüzde 18 seri üretimlerde yüzde 13-14 arasında değişmektedir [27].

1.6.2 İnce film hücreler

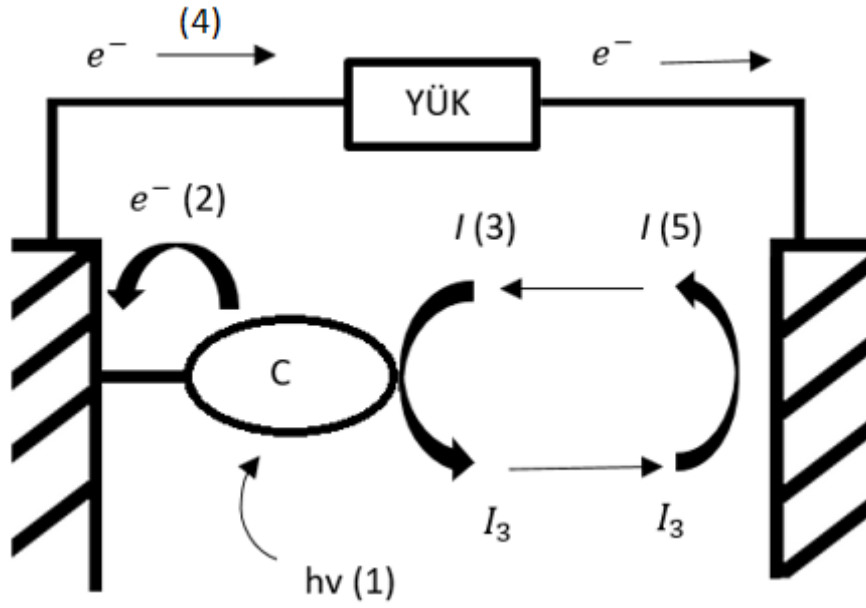
Üretimi kolay olan bu tür güneş hücreleri çok ince yarı-iletken katmanların üst üste yerleştirilmesiyle elde edilmektedir. Değişik malzemelerden(bakır indiyum, kadmiyum tellür) üretilmesinin yanında genelde amorf silisyumdan üretilmektedir. Kristal silisyumun FV hücrelerine göre çevreye olumsuz etkisi yoktur, hücre ömürleri etkilenmeden üretim gerçekleştirilebilir, maliyeti daha azdır, tek kristal silikondan daha etkin ve düşük kalınlıkları bile güneş enerjisinin büyük bölümünü soğurabilmektedir. Genelde amorf silikon güneş hücreleri güç gereksinimi az olan cihazlarda kullanılmaktadır. Geri ödeme süresi kısa olan bu yöntemde içten bağlantılı olarak tek parça üretim gerçekleştirilmektedir. Ticari açıdan amorf silisyum hücre, maliyeti az alt tabaka üzerine ince çok-kristal silikon, bakır indiyum diselenid/kadmiyum sülfid farklı eklemlili hücre ve kadmiyum tellür/kadmiyum sülfid farklı eklemlili hücreler geliştirilmiştir [3]. Etkinlik bakımından örnek verecek olursak dalga boyu 0.7 mikrondan küçük bölgedeki radyasyonu kristal silisyumun soğurabilmesi için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekirken amorf silisyum 1 mikron kalınlığında soğurabilmektedir [27].

1.6.3 3. Nesil kavramlar

Nanometre boyutundaki soğurma eşiği ayarlanabilen yapılardır. Bunlar ;

1.6.3.1 Boya duyarlı hücreler

Bu tip hücreler yarı-iletken ve bir iletim çözeltisi olan elektrolit sıvı içermektedir. Bu bileşim ışıınımdan üretilen yakın bağlı elektron-boşluk çiftlerini ayırmayı sağlamaktadır. İndüklenen yük taşıyıcılarının kaynağı ışığa duyarlı boyalardır [3]. Şekil 1.11' de boya duyarlı hücre çalışma ilkesi gösterilmektedir.



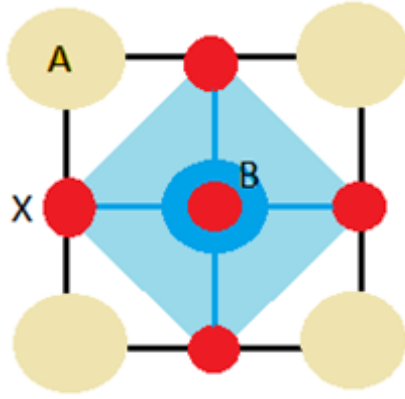
Şekil 1.11 Boya duyarlı hücre çalışma ilkesi [3]

1.6.3.2 Organik hücreler

Organik hücreler ilk olarak poliasetilen katkılı ve yüksek iletkenlikli polimer olarak ortaya çıkmış ve genelde optik elektronik cihazlarda kullanımı süre gelmiştir. Bu hücreler bir takım avantajlara sahiptir. Bunlar; içeriğinde kullanılan malzemesi bol miktarda bulunmakta ve ucuzdur. Soğurma katsayıları yüksek, kütleleri azdır, üretimde saflaştırma gereksinimine ihtiyaçları yoktur. Çevreye olumsuz etkileri bulunmamaktadır [3].

1.6.3.3 Perovskite hücreler

Hibrit organik-inorganik metal halojenür perovskite güneş pili verimleri önemli derecede artmıştır. Perovskit malzemeler uzun taşıyıcı difüzyon uzunlukları, yüksek ışık soğurma potansiyeli ayarlanabilen bant aralıkları, düşük maliyet ve yüksek verimleri gibi avantajlara sahiptir.



Şekil 1.12 Perovskite kristal yapısı [38]

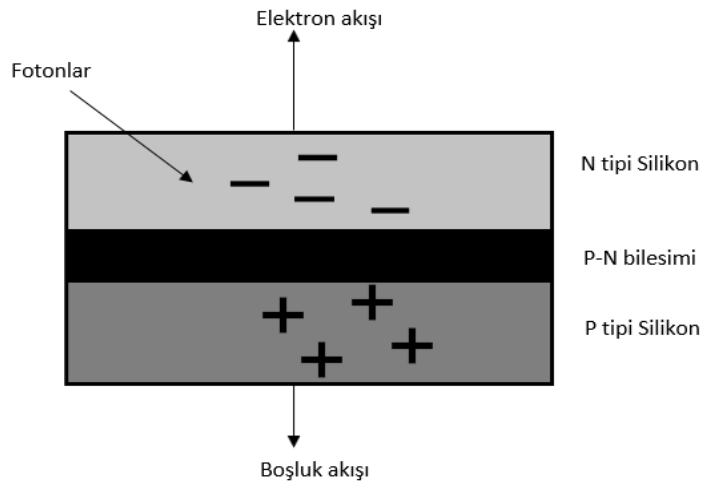
Perovskite materyaller genel yapısı ABX_3 olarak tanımlanmaktadır. Şekilde A ve B farklı boyutlara sahip katyonlar, X ise anyondur [38]. Şekil 1.12’ de perovskite kristal yapısı gösterilmektedir.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

2.1 Giriş

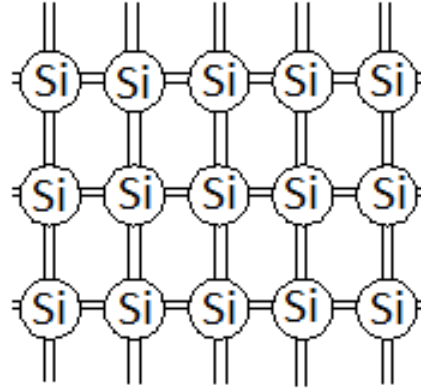
Güneş, diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında dünyanın her yerinde ve kullanılabilir durumda olan bir kaynaktır. İngilizce Photo Voltaic kelimesi, dilimize güneş pili veya güneş hücresi olarak geçmiştir [27]. FV sistem elektrik üretme amacıyla bir invertör ile birleştirilmiş diğer elektrik ve mekanik donanımdan oluşan güneş panellerinden oluşmaktadır. Ölçüleri değişebilen ve şebekesiz de çalışabilen sistemlerdir [39].

FV etkisi ilk olarak 1839 yılında fizikçi Edmond Becquerel tarafından ışık şiddetinin metal elektrot iletkenliğini artırdığının farkına varmasıyla bulunmuştur. Bir öğrencisi ışınım altında selenyum ve platin arasında FV etkisinin olduğunu gözlemlemiştir, ancak bunların güneş pillerine dönüşmesi 1918’li yıllarda Jan Czochralski ile olmuştur. FV etki maddenin tüm hallerinde gözlemlenebilmektedir ancak bu etkinin yararlı hale gelebilmesi için yarı-iletken malzeme kullanmak gerekmektedir. Yarı-iletken malzemelerde silisyum, galyum arsenit, kadmiyum kullanılmaktadır, ancak genelde kristalize silikon tercih edilmektedir. Hücrelerin çeşitli şekillerde bağlantısı sağlanarak istenilen akım ve gerilimler elde edilmektedir. Işınlardan elektriğe çevrilmesi; yarı-iletken güneş pilleri, fotoemissif hücreler ve fotorezistif hücreler gibi cihazlarla olmaktadır. Kilowatt başına en yüksek maliyete sahip olan FV sistemleri 40 yıla varan ömürleriyle yine de alternatif bir yol olarak seçilebilir [27]. Şekil 2.1’ de plakalı güneş kollektörü kesiti gösterilmiştir.



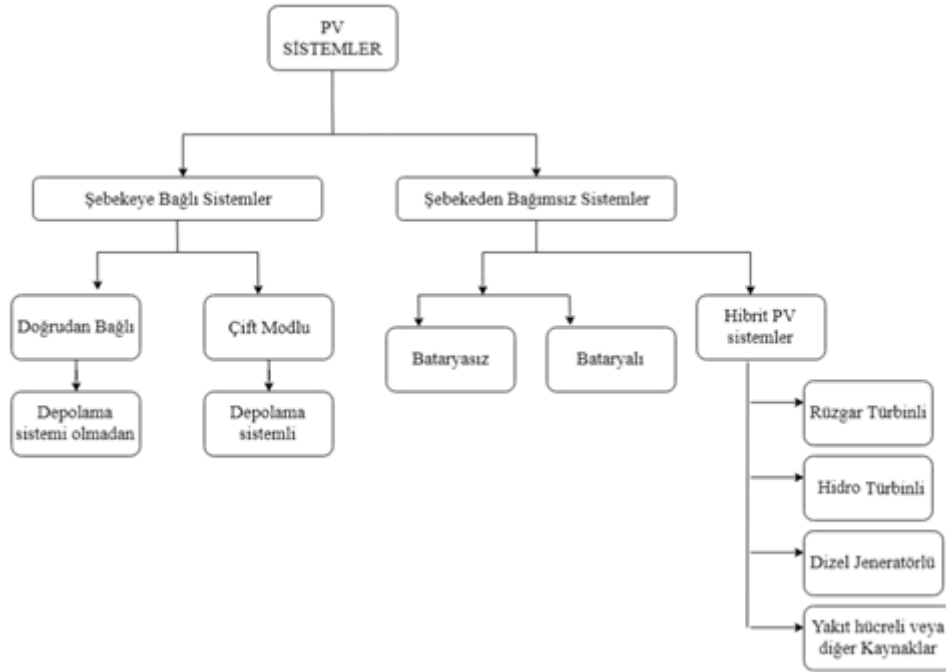
Şekil 2.1 Plakalı güneş kollektörü kesiti [2]

Fotoelektrik terimi ışıktan elektrik üreten bir efekt tanımlamasında kullanılır. Üç tane ana süreci vardır. Bunlar; fotoyayılım, foto iletkenlik ve fotovoltaj etkidir. Fotoyayılım ışığın altında elektron yaydığı zaman, foto iletkenlik etki ışıkla orantılı olarak maddenin içinden geçen elektrik akımının değişmesi ve fotovoltaj etki ise iki madde arasında ışık düştüğünde maddenin sınırından elektron geçmesi olarak ifade edilmektedir. Elektronların aktığı taraf negatif, elektronları kaybeden taraf ise pozitif yüklenmekte ve sonucunda P-N eklemi oluşmaktadır [2]. Şekil 2.2’ de güneş pili atomik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Güneş pili atomik yapısı [27]

2.2 FV Sistem Çeşitleri



Şekil 2.3 FV sistem çeşitleri [40]

FV sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler olarak iki ana kısma ayrılabilir. Şebekeye bağlı sistemler doğrudan bağlı ve çift modlu olarak ikiye ayrılırlar. Şebekeden bağımsız sistemler ise bataryalı, bataryasız ve hibrit FV sistemler olarak üçe ayrılırlar. Şekil 2.3' de FV sistem çeşitleri gösterilmektedir.

2.2.1 Şebekeden bağımsız sistemler

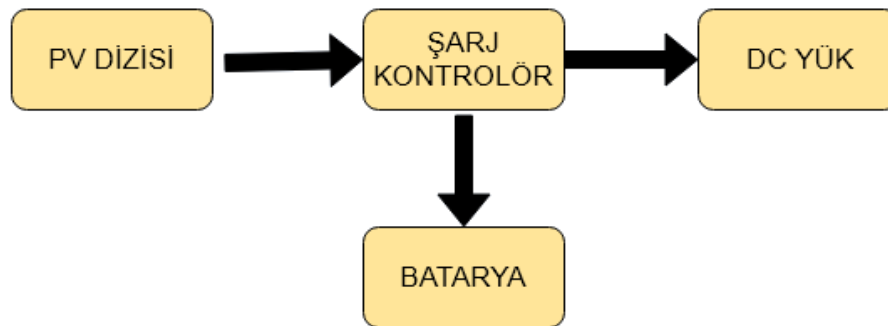
En basit yöntem bir havalandırma veya suyu hareket ettirmek için bir yük ve FV modülünden oluşmaktadır. Enerji talebine göre FV sayısı ve boyutu belirlenir. FV direkt sistem olarak adlandırılan bu yöntemde solar FV modülleri DC elektrik akımı ürettiğinden yükün buna uyumlu olması gerekir. Bu sistemler gündüz yük için elektrik ürettiğinde ideal bir sistem olmaktadır.



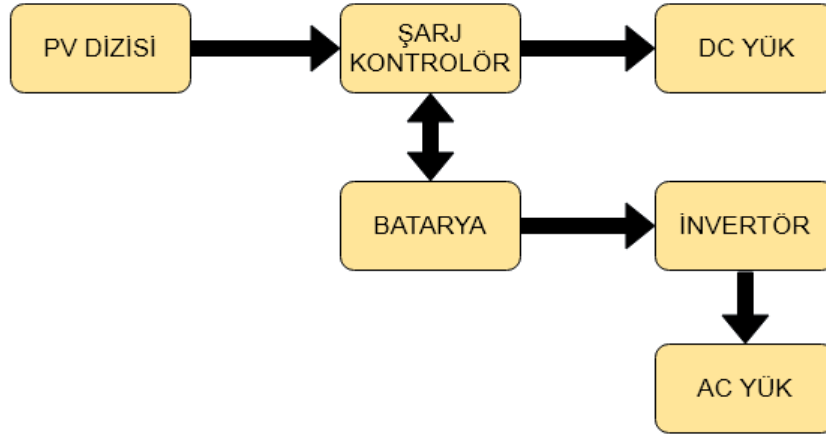
Şekil 2.4 FV direkt sistem [41]

Bu yöntemle gündüzleri hesap makinesi, pompa, saat, vantilatör gibi cihazlar çalıştırılabilir.

Şebekeden bağımsız sistemler güvenilir bir yöntem, maliyetleri uygun ve bir çok uygulama için en iyi seçenektir. Şebekeden bağımsız sistemler bir ev için, su pompası veya başka bir yük için olduğu anlamına gelmektedir. Bu sistemler bataryalı veya bataryasız olabilirler. Zeminden dışarı pompalanan su için bir tankta tutma ihtimali olduğundan bataryasız, evler içinse gece kullanımlar için bataryalı tasarlanmaktadır [42].



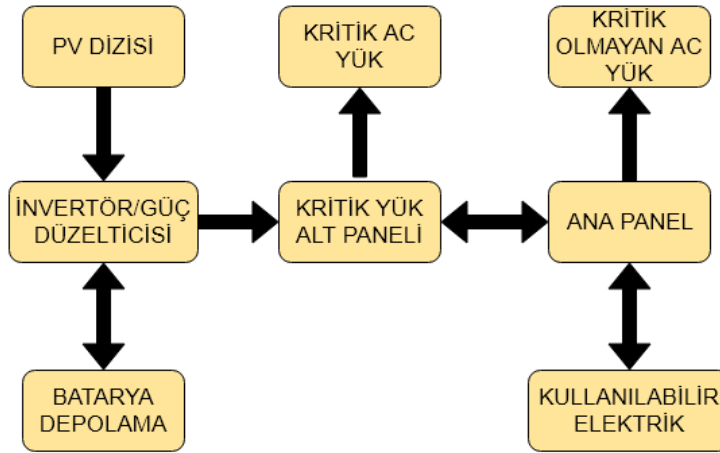
Şekil 2.5 Şebekeden bağımsız sistem blog diyagramı [41]



Şekil 2.6 Batarya tabanlı hem AC hem DC yük çalıştırabilen sistem [41]

2.2.2 Şebekeye bağlı sistemler

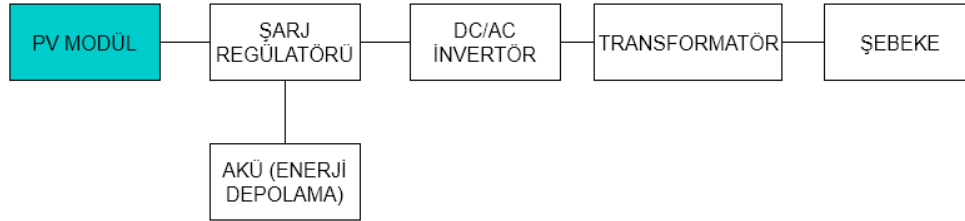
Çok hızlı büyüyen bir sistemdir. Konut veya ticari şebekeye bağlanarak yerel tesis tarafından sağlanan enerjiyi azaltmaktadır. Bu sistemler FV modül ve DC elektriği AC elektriğe çeviren invertörden oluşmaktadır. Sistem gündüzleri enerjiyi şebekeye sağlamakta, geceleri ise şebekeden enerjiyi çekmektedir. Net ölçüm şebekeye sağlanan elektrik ve şebekeden alınan elektriğin miktarıyla hesaplanmaktadır. İnvörtör güvenlik sebebiyle bir kesinti anında elektrik şebekesine göndermeyecek bir şekilde tasarlanmaktadır. Bu sistemler küçük konutlar için oldukça iyi bir seçenektir [41].



Şekil 2.7 Batarya tabanlı şebekeye bağlı sistem blok diyagramı [41]

2.3 FV Sistem Bileşenleri

FV sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak ikiye ayrılmaktadır. Genel olarak şebekeye bağlı sistemler daha fazla bileşene sahiptir.



Şekil 2.8 Şebekeye bağlı sistem blok diyagramı [43]

2.3.1 Solar modül

Sistemin kalbini solar modül oluşturmaktadır. Birçok fotovoltaiik hücre birleştirilerek solar modülü, solar modüller ise birleştirilerek dizileri oluşturmaktadır. Sert düz çerçeveli modüller sıklıkla silikondan oluşmakta ve en yaygın kullanım oranına sahiptir. Silikon hücreler monokristal, polikristal veya amorf yapılara sahiptir. Bunların yanında kadmiyum tellürür(CdTe) ve bakır indiyum diselenid(CIS) gibi malzemelerde hücre modül yapımında kullanılmaktadır. Panellerde nominal güç 25°C veya 75°C modül sıcaklığında ve sabit havada 1.000 watt güneş ışığıyla üretebileceği güç olarak tanımlanmaktadır. Konutlarda genelde nominal güç çıkışı 100-300 watt arası değişen paneller kullanılmakla beraber farklı uygulamalarda 10 watt çıkışlı panellerde kullanılmaktadır. Aküsüz modern sistemlerde 235V ila 600V sağlamakta bataryalı sistemlerde şarj kontrol cihazı batarya dizisinin gerilimine uyması için 12V, 24V veya 48V gerilime ihtiyaç duymaktadır. Silikon modüller genellikle 20-25 yıllık üretici garantisine sahip olarak üretilmektedir [44].

2.3.2 Şarj regülatörü

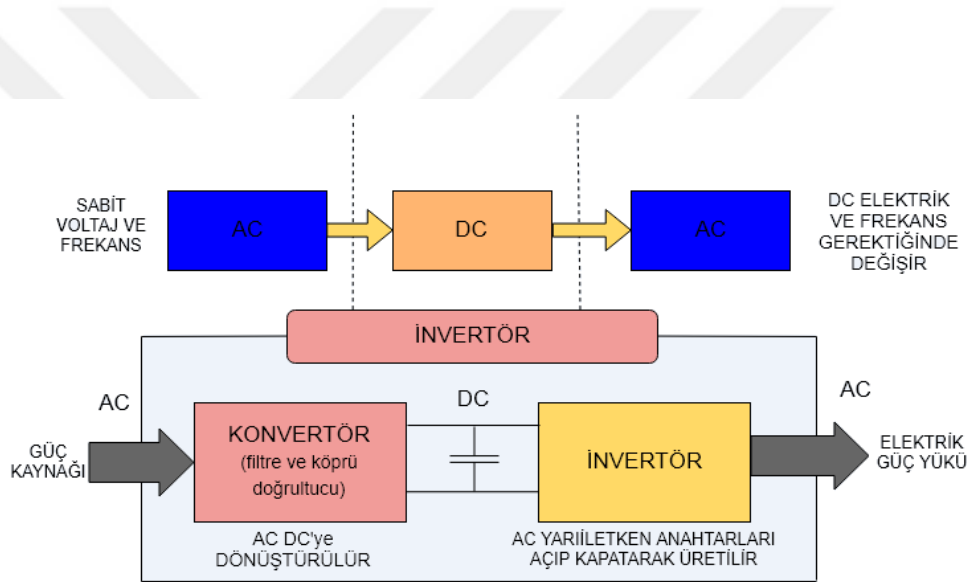
Aküye giden farklı güç girişlerini düzenlemektedir. Güneş panelinin nominal voltajı 12V olmasına rağmen gerçekte bu değer 17V civarındadır, Bu voltaj değerlerini ayarlamak gerekmekte aksi bir durumda ise akü aşırı şarjdan zarar görebilmektedir. Piyasada 2 tip kontrolör bulunmaktadır bunlar; 3 kademeli şarj döngüsü ve MPPT 'dir [45].

2.3.3 İnvörtör

Gerilimin, yapı ve akü arasında, doğru bir voltaj elde edilmesi için gerekli bir cihazdır. Yapıdaki tüm cihazlar çalıştırıldığı zaman sistemin çökmemesi için maksimum güce yakın invörtör seçilmesi gerekmektedir [45].

İnvörtörler güç koşullandırılmasında:

- FV modüllerinden veya aküden gelen DC gücü AC ye çevirmek
- AC devir sıklığını ayarlamak
- Voltaj dalgalanmalarını azaltmak
- AC dalga şeklinin uygun olmasını sağlamaktadır [44].



Şekil 2.9 İnvörtör çevrimi [46].

2.3.4 Transformator

Transformatörler değişken manyetik alan etkisiyle bir gerilim seviyesindeki AC elektrik gücünü farklı bir seviyedeki AC elektrik gücüne çeviren cihazlardır. Ortak bir ferromanyetik çekirdek üzerine sarılan bobinlerden oluşmaktadır. Bobinlerdeki bağlantı ise manyetik akı tarafından olmaktadır. Sargılardan biri kaynağa, diğeri ise yüke bağlanmaktadır. Primer sargıya bir gerilim uygulandığında faraday yasasına göre bir akı oluşmakta ve bu oluşan akı sekonder sargılarda bir gerilim indüklemektedir. Çekirdekler yüksek geçirgenliğe sahiptir. Transformatörler histerezis kaybı, kaçak akı, girdap akımı kaybı ve bakır kayıplarına sahiptir. Gerçek bir transformatörde verim ve gerilim regülasyonu hesaplanarak transformatörün işlevselliği bulunur.

Transformatörler sayesinde üretilen AC elektrik gücü çok düşük kayıplarla uzak mesafelere iletilmektedir. Dünyadaki ana güç üretim ve dağıtım sistemleri genelde 3 fazlı transformatörlerle sağlanmaktadır [47].

Terminaller arasındaki bağıntı aşağıdaki eşitliklerden bulunmaktadır.

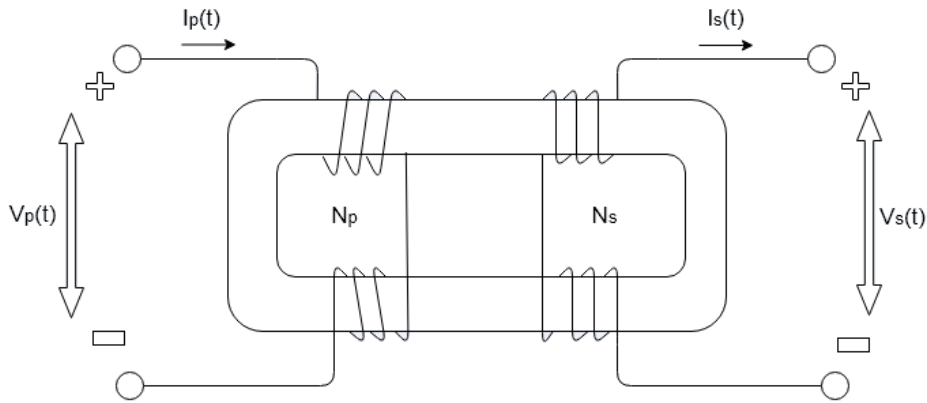
Çıkış gerilimi arasındaki bağıntı:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a \quad [2.1]$$

Akımlar arasındaki bağıntı ise :

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{1}{a} \quad [2.2]$$

Transformatörler nüve tipine göre, faz sayısına göre, kullanım amacına göre ve çalışma ortamına göre birçok çeşitte bulunabilmektedir.



Şekil 2.10 İdeal transformatör [47]

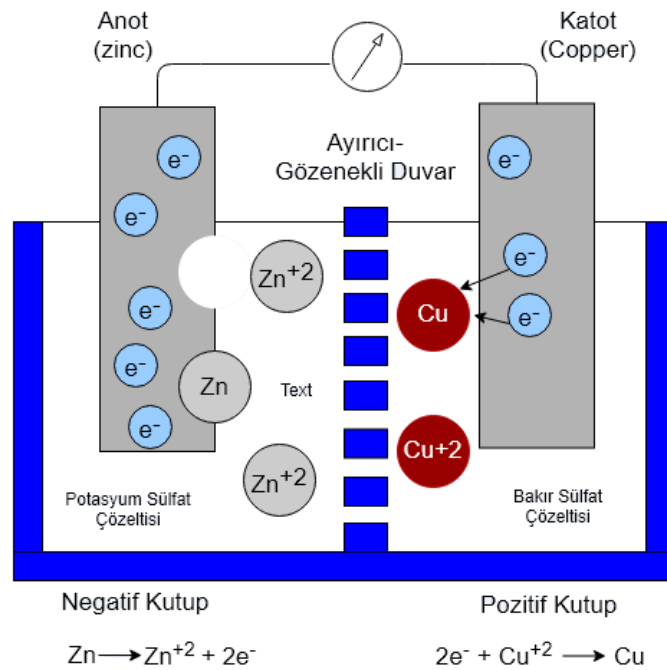
2.3.5 Akü

Luigi Galvani farklı metaller arasında bulunan kurbağa bacağının büzüldüğünü gözlemlemiştir. Bu fenomeni farklı metaller arasındaki elektrolit (kurbağa bacağı) sonucu olduğunu Alessandro Volta yaptığı deneyler ile kanıtlamıştır. İlk batarya 1800 yılında Alessandro Volta tarafından keşfedilmiş ve 'volta pili' olarak adlandırılmıştır [48].

Aküler elektrokimyasal boşalma yoluyla kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Piller pozitif elektrot, negatif elektrot, ayırıcı ve elektrolit içeren hücre veya hücre gruplarından oluşmaktadır. Bu hücreler şarj edilebilen ve edilemeyen olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Şarj edilebilen hücrelere ise DC şarj kaynağı gerekmektedir.

Akülerin geniş çalışma aralığı, hızlı şarj kabiliyeti, çevresel sağlamlığı gibi özellikleri önemli özellikleridir [49].

Elektron transferi teknik olarak bir redoks tepkimesidir. Bir bataryadan elektrik enerjisi çekildiği zaman çinko atomları çözelti içerisinde bulunan çinko iyonlarını serbest bırakır ve bu elektronlar akünün pozitif kutbuna gelirler. Pozitif kutuptaki bakır iyonları elektronları absorbe ederler. Yani devre elektrotlar arasında hareket eden iyonlar tarafından tamamlanır. İndirgeme tepkimesi katotta, oksidasyon ise anotta gerçekleşmektedir. Yani elektron hareketi akülerdeki voltajın kaynağıdır [50].



Şekil 2.11 Redoks tepkimesi [50]

2.3.6 Dizi montaj rafları

Diziler genellikle bulunduğu yerdeki çelik direklere monte edilirler. Bazen bir yapının parçası veya bir kısmı olarak kullanılabilirler. Çatılarda kullanıldığında eğimi sürekli sabit kalsada bazı montaj şekillerinde eğimi de ayarlanabilmektedir. Direğe monte edilen dizilerde ise güneş takibi sağlanmaktadır ve takip sistemi verimi günlük yüzde 25 ila yüzde 40 oranında artırmaktadır. Modül üreticileri genelde destek gereksinimlerini sağlamaktadır. Asfalt bileşimli yapılar için montaj elemanları paslanmaz çelik civatarla sabitlenir. Metal yapılar için metal kesilip montaj direklerinin etrafı sağlamlaştırılmalı ve tekrar yapı kapatılmalıdır [44].

2.3.7 Topraklama aletleri

Topraklama aletleri olası arızalardan ve yıldırım düşmelerinden sistemi korumakta, aynı zamanda voltajı dengelemekte ve ortak referans noktası oluşturmaktadır. Sistem topraklaması yapılmalı, ayrıca akım taşıyan iletkende çeşitli durumlarda topraklama hatası meydana geldiğinden dolayı bütün ekipmanlar da ayrıca topraklanmalıdır [44].

2.3.8 Birleştirici kutu

İletkenlerin birleştirildiği içerisinde emniyet sigortası, kesici ve dalgalanma koruyucusu olabilen cihazlardır.

2.3.9 Kablolar

Bir FV dizisinde kablolar sistemin uzun ömürlü ve emniyetli olmasını sağlamaktadır. Kablo seçimi yapılırken sistemin gücüne göre yüksek akımlara dayanıklı, ayrıca bölgesel ve mevsimsel şartlarda göz önünde bulundurulmalıdır.

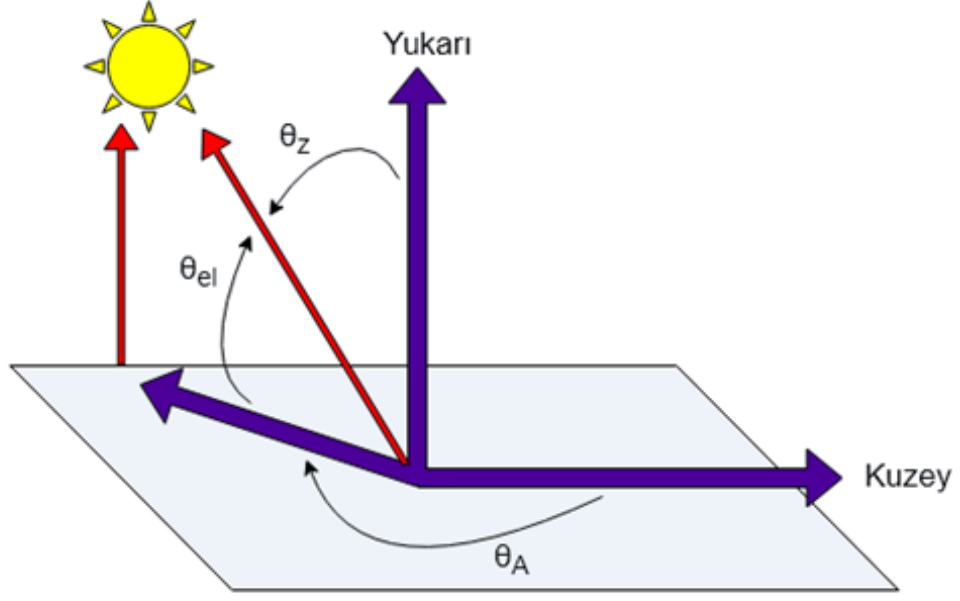
Arıza riskini minimum tutmak için DC kablo bağlantıları kısa olmalıdır. FV dizisi arkasına bağlanan kablolar -15°C ila $+80^{\circ}\text{C}$ arasında işlev görmelidir. FV dizisi kabloları genelde şok koruması için güçlendirilmiş yalıtıma sahiptir ve olası mekanik arızalarda sorun tespiti zor olacağından bu kablolar gizlenmemelidir [51].

2.4 Yer Seçimi

2.4.1 Giriş

FV sistemlerde önemli konulardan biride yer seçimidir. Güneş, gün ve yıl içerisinde farklı konumlarda bulunmakta dolayısıyla her zaman güneş radyasyonundan aynı verimi elde etmek mümkün olmamaktadır. Güneşin farklı konumlarda bulunmasına ek olarak mevsimsel ve çevresel etkilerle de güneş radyasyonu farklılık göstermekte ve gölgelenmeler oluşabilmektedir.

2.4.2 Güneşe karşı pozisyon



Şekil 2.12 Güneşe karşı parametreler [52]

Burada :

θ_{el} : Ufuktan Ölçülen Yükseklik Açısı

θ_z : Düşeyden Ölçülen Zenith Açısı

θ_A : Kuzeyden Ölçülen Azimuth Açısı

Güneşin göreceli konumunu belirlemek için uluslararası kabul edilmiş saat ölçeklerini bilmek gerekir. Bunlar:

Evrensel Zaman(UT veya UT1), dünyanın rotasyonuna dayanan bu tanımda başlangıç gece yarısı 0 olarak belirtilmektedir. Greenwich saati olarak da bahsedilmektedir.

Uluslararası atomik zaman (TAI), çok sayıda atom saatine dayanmakta ve süresi SI-saniyedir.

Kordineli evrensel zaman (UTC) , yasal zamanın temelidir [53].

Karasal zaman(TDT veya TT), jeosantrik efemeritlerin teorik zaman çizelgesi olarak tanımlanmaktadır [54].

Saniye bakımından zaman ölçekleri arasındaki dönüşümler:

$$TT = TAI + 32.184 \quad [2.3]$$

$$UT = TT - \Delta T \quad [2.4]$$

Burada ΔT karasal zaman ve dünyanın dönme zamanı arasındaki farktır.

$$UT = UT1 = UTC + \Delta UT1 \quad [2.5]$$

Burada ise $\Delta UT1$ Dünyanın düzensiz dönme hızını ayarlamak için UTC'ye eklenen değerdir [53].

2.4.2.1 Jülyen gün hesaplama

Jülyen tarih milattan önce 1 ocak 4713 12.00 da başlamaktadır. Evrensel zaman kullanılarak hesaplanmaktadır. Jülyen efemeris günü (JDE) ise karasal zaman kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$JD = INT(365.25 \times (Y + 4716)) + INT(30.6001 \times (M + 1)) + D + B - 1524.5 \quad [2.6]$$

Burada:

INT, hesaplanan terimlerin tamsayı kısmı

Y, yıl

M, ay

D, ondalık zamanla ayın günü

B, jülyen takvimi için yukarıdaki denklemde 0'a eşittir. (JD<2299160)

Jülyen efemeris günü hesaplama:

$$JDE = JD + \frac{\Delta T}{86400} \quad [2.7]$$

Jülyen yüzyıl(JC) ve jülyen efemeris yüzyılı(JCE) 2000 standart dönemi için hesaplama:

$$JC = \frac{JD - 2451545}{36525} \quad [2.8]$$

$$JCE = \frac{JDE - 2451545}{36525} \quad [2.9]$$

Jülyen efemeris milenyumu (JME), 2000 standart dönemi için hesaplama [53].

$$JME = \frac{JCE}{10} \quad [2.10]$$

Gün doğumu ve gün batımı için zaman yaklaşımı:

$$Longhour = \frac{Enlem}{15} \quad [2.11]$$

Gün doğumu için :

$$t = JD + \left(\frac{6-Longhour}{24} \right) \quad [2.12]$$

Gün batımı için :

$$t = JD + \left(\frac{18-longhour}{24} \right) \quad [2.13]$$

Güneşin ortalama anomalisi (m) :

$$m = (0,9856 \times t) - 3,289 \quad [2.14]$$

Güneşin gerçek boylamı (L) :

$$L = \{m + [1,916 \times \sin(m)] + [0,02 \times \sin(2 \times m)] + 282,634\} - 360 \quad [2.15]$$

Güneş yükselimi (RA) :

$$RA = \tan^{-1}[0,91764 \times \tan(L)] \quad [2.16]$$

Yükselimin L ile aynı Kadranda ayarlanması :

$$Lquadrant = \left[INT \left(\frac{L}{90} \right) \right] \times 90 \quad [2.17]$$

$$RAquadrant = \left[INT \left(\frac{RA}{90} \right) \right] \times 90 \quad [2.18]$$

$$RA = RA + (Lquadrant - RAquadrant) \quad [2.19]$$

Saat - RA dönüşümü :

$$RA = \frac{RA}{15} \quad [2.20]$$

Güneş sapması :

$$\sin Dec = 0,39782 \times \sin(L) \quad [2.21]$$

$$\cos Dec = \cos(\sin^{-1}(\sin Dec)) \quad [2.22]$$

Güneşin yerel saat açısı ve saat dönüşümü :

$$\cos H = \frac{[\cos(Zenith) - (\sin Dec \times \sin(Latitude))]}{[\cos Dec \times \cos(Latitude)]} \quad [2.23]$$

$\cos H > 1$ ise güneş asla belirtilen yerde doğmaz

$\cos H < -1$ ise güneş asla belirtilen yerde batmaz

Gün doğumu için :

$$H = 360 - \cos^{-1}(\cos H) \quad [2.24]$$

Gün batımı için :

$$H = \cos^{-1}(\cos H) \quad [2.25]$$

$$H = \frac{H}{15} \quad [2.26]$$

Gün doğumu ve gün batımı için yerel ortalama süre :

$$T = H + RA - (0,06571 \times t) - 6,622 \quad [2.27]$$

Yerel ortalama sürenin UTC'ye göre ayarlanması :

$$UT = T - Longhour \quad [2.28]$$

UTC yerel ortalama saatinin yerel saat dilimine göre ayarlanması :

$$LT = UT + Yereluzaklık \quad [2.29]$$

[55].

Azimuth ve yükseklik açısı hesaplama :

Yerel standart saat meridyeni (LSTM) :

$$LSTM = 15 \times YerelUzaklık \quad [2.30]$$

Zaman denklemini(EoT) dakika cinsinden hesaplama :

$$B = \left(\frac{360}{365}\right) \times (JD - 81) \quad [2.31]$$

$$EoT = 9,87 \times \sin(2 \times B) - 7,53 \times \cos(B) - \sin(B) \quad [2.32]$$

Dakika cinsinden zaman düzeltme faktörü (TC) :

$$TC = 4 \times (Boylam - LSTM) + EoT \quad [2.33]$$

Yerel Güneş Saati :

$$LST = LT + \left(\frac{TC}{60}\right) \quad [2.34]$$

Saat açısı(HrA) :

$$HrA = 15 \times (LST - 12) \quad [2.35]$$

Saat açısı (15°)

Güneşin sapma açısı (δ) :

$$\delta = 23,45 \times \sin \left[\frac{360}{365} \times (JD - 81) \right] \quad [2.36]$$

Yükselme açısı (a) :

$$a = \sin^{-1} [\sin(\delta) \times \sin(Boylam) + \cos(\delta) \times \cos(Boylam) \times \cos(HrA)] \quad [2.37]$$

Azimuth açısı (φ) :

$$\varphi = \cos^{-1} \left[\frac{\sin(\delta) \times \cos(Boylam) - \cos(\delta) \times \sin(Boylam) \times \cos(HrA)}{\cos(a)} \right] \quad [2.38]$$

Bu denklemlerle herhangi bir zamanda güneşin konumu gün boyunca bulunabilmektedir [55].

2.4.3 Işıma

Hava koşulları ve ışıma FV sistemlerde girdi olarak hesaba katılmaktadır. Işıma, belirli alanlarda anlık güneş enerjisi ölçümüyle bulunmakta yani metrekare başına düşen watt olarak ifade edilmektedir. Güneşlenme ise belirli bir sürede ve belirli bir alanda kümülatif enerjinin ölçülmesi yani metrekare başına kilowatt saat olarak ifade edilmektedir [56].

Fotovoltaik performanslardaki değişim ağırlıklı olarak bulutlardan kaynaklanmaktadır, bunun yanında farklı miktarlarda atmosferik bileşen de fotovoltaik sistem performansını etkilemektedir. Diğer değişkenler ise aerosol ve ozon miktarları olarak gösterilebilir. FV performansı aynı zamanda mevsimsel olarak, bazı durumlarda günden güne ve yere bağlı olarak değişmektedir [57].

Atmosferik etkilerin fotovoltaik uygulamalardaki etkileri şunlardır [58]:

- Atmosferdeki absorpsiyon ve dağılma nedeniyle ışınının gücünde azalma
- Bazı dalga boylarında normal olarak görüldenden farklı emilimsel veya dağılımsal olarak güneş ışınmasının spektral içeriğinde farklılık
- Güneş ışığına farklı yollardan bileşenler eklenmesi
- Yerel konumdan kaynaklanan atmosferik değişiklikler.

Radyasyon bir ortamda dalga boyuna bağlı olarak iletilebilir, emilebilir veya dağılabilir. Işınlama ölçümleriyle alakalı bileşenler Eşitlik 2.39' da verilmiştir [59].

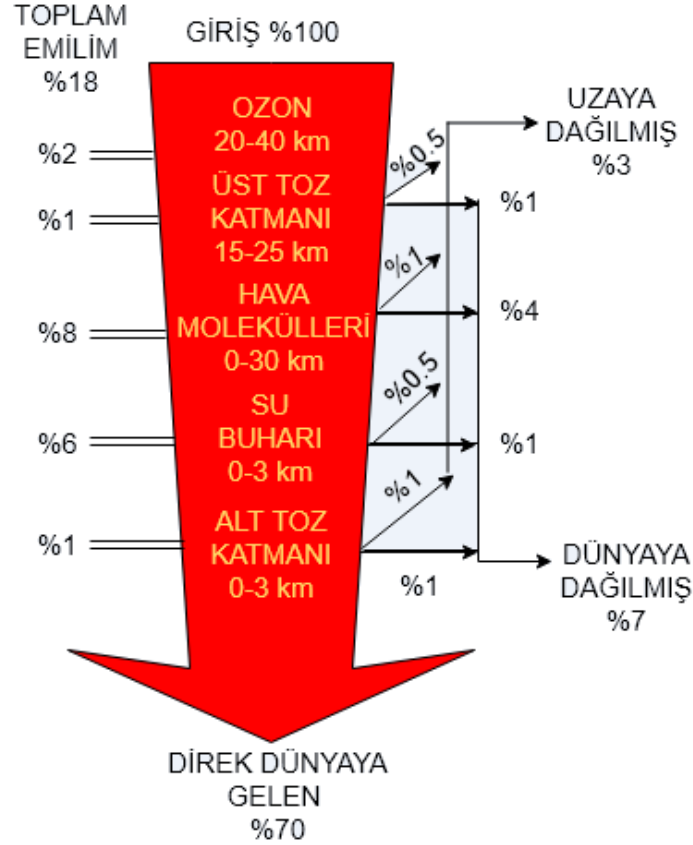
$$GHI = DNI \times \cos(\theta_z) + DHI \quad [2.39]$$

Burada;

DNI : Doğrudan Normal Işınım

DHI : Dağınık Yatay Işıma

GHI : Global yatay ışım



Şekil 2.13 Gelen radyasyonun emilim ve dağılımı [58]

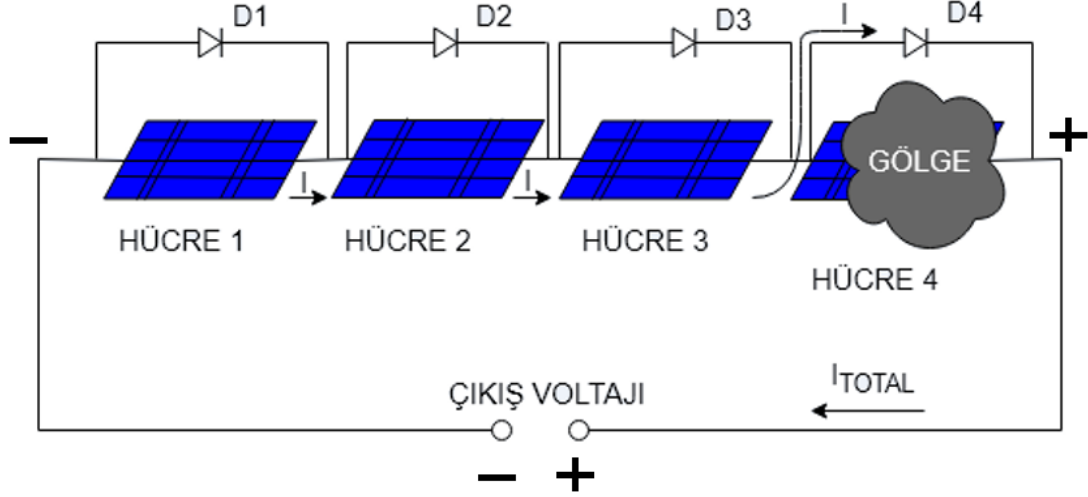
2.4.4 Gölge

FV paneller her zaman düzgün aydınlanmamaktadır. Bunların sebepleri arasında atmosfer dalgalanmaları, bulutlar, bina ve ağaç gölgeleri gösterilebilir [60].

Gölgelenme FV panel performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. En iyi çözüm gölgeden kaçınmak olsada pratikte böyle bir şey mümkün değildir. Gölgede kalmış alan küçükde olsa etkisinin boyutu büyüktür. Sebebi ise panellerin seri bir devre gibi bağlanmış hücrelerden oluşmasıdır. Gölgelenme FV panellerdeki kayıpların başında gelmektedir. Gölgelenmenin yanında sıcaklık ve alınan radyasyonda performans üzerinde etkili olan etmenlerdendir. Modüller gölgelendiğinde akım alternatif bir yol olan diyotlardan akmaktadır [61].

By-pass diyotlu güneş pilleri normal çalışmada yüksek empedans ve ters yönlü olduğundan akım geçirmemektedir. Gölgelenme zamanı komşu hücre voltajları ile by-pass diyodu öngerilim ve empedansını gölgeli hücreden daha düşük hale gelmekte ve

akım yolu diyot boyunca devam etmektedir. Aynı zamanda gölgelenmeden dolayı paneller eşit güç üretmemekte ve gölgelenmiş modüller diğer modüllerden güç çekmektedir [60].



Şekil 2.14 Modül üzerinde By-pass diyotlarının bağlanması [60]

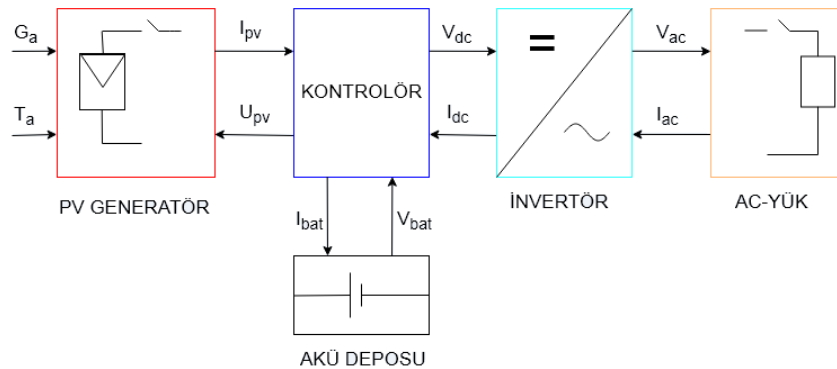
2.5 FV Sistem Tasarımı

2.5.1 Şebekeye göre tasarım

FV sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İlk olarak şebekeden bağımsız sistemlerden bahsedilecektir.

2.5.1.1 Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeye bir bağlantısı olmayan bu sistemlerde DC veya AC yük beslenmektedir. Bu sistemlerin kapasitesi genel itibariyle büyük olmamaktadır. Şekil 2.15' de şebekeden bağımsız sistemlerin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.15 Şebekeden bağımsız sistemlerin genel yapısı [62]

Burada :

G_a : Dizi düzlemine gelen ışımaya (W/m^2)

T_a : Ortam Sıcaklığı ($^{\circ}C$)

V_{bat} : Batarya Voltajı (V)

I_{bat} : Akü akımı (I)

I_{load} : Yük akımı (A)

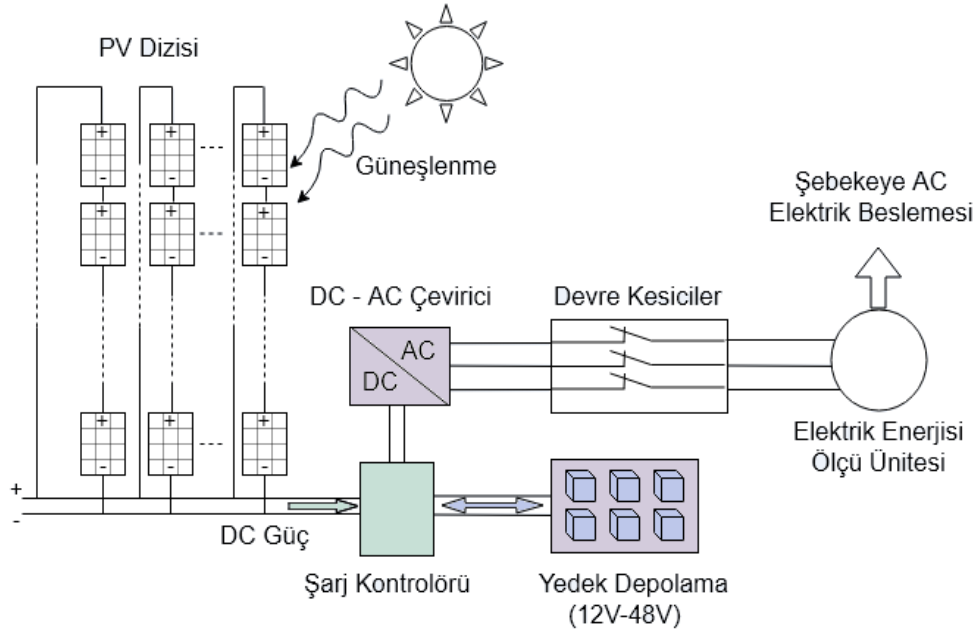
I_{pv} : FV generatör akımı (A)

U_{pv} : FV generatör gerilimi (V)

olarak verilmiş ve FV generatör ise FV hücreleri ve bütün bileşenleri olarak ifade edilmektedir [62].

2.5.1.2 Şebekeye bağlı sistemler

Şebekeye bağlı sistemler AC veya DC yük beslemesinde kullanılmaktadır. Beslenen yük haricinde şebekeye de elektrik sağlayan bu sistemler büyük kapasitelerde olabilmektedir. Şekil 2.16' da şebekeye bağlı sistemlerin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.16 Şebekeye bağlı sistemlerin genel yapısı [63]

2.5.2 Yük profilleri

Konut yükleri aydınlatma ve ev aletlerinden oluşmaktadırdır. Bu yüklerden bazıları genellikle belirli saatlerde bazıları ise sadece ihtiyaç duyulduğunda kullanılmaktadır. Çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi ihtiyaa göre çalışmakta fakat buzdolabı ise sürekli çalışmasından dolayı sabit bir yük olduğunu kabul etmek gerekir. Yük profilleri FV sistem üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Akünün tamamen dolu olması ve boşalması düşük performansa yol açmaktadır. FV sistem kapasitesi tüketilen gten büyükse bu g doğrudan FV sistemle yada akyle karşılanacak, eğer FV sistem kapasitesi tüketilen gten kkkse ak sürekli şarj durumuna gelecek ve sistem performansı etkilenecektir [64].

2.5.3 Meteorolojik etki

Fotovoltaik sistemlerin tercih sebeplerinden biri evre dostu bir enerji üretim kaynağı olmasıdır. Fotovoltaik sistemlerde enerji üretimindeki en büyük sıkıntı üretilen enerjinin ngrlemezliğidir. 2013 yılında Amerika Birleşik devletlerinde üretilen toplam gücün %12,87'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilirken bu öngörülemezlik nedeniyle fotovoltaik sistemlerden elde edilen miktar ise yenilenebilir enerji kaynaklarından eldenin yalnızca %0.4 olarak gerçekleşmiştir [65].

Bu ngrlmezliğin sebepleri arasında değişken dış parametreler yatmaktadır. Bu dış parametreler sıcaklık, bulutlanma ve basınç gibi etmenlerdir yani en önemli parametre değişken hava koşullarıdır. Hava koşulları mevsimsel olarak stabil gibi görünse de bulunulan konumda sürekli olarak farklılıklar oluşmaktadır. Örneğin hava koşullarına bağlı oluşan bulutlanmalar fotovoltaik sistemde gölgelenmeler oluşturmakta ve sistemin performansında önemli düşüşler gerçekleşmektedir veya rüzgarın sürüklediği toz gibi kirlenmeler gelen işiği engellemekte aynı şekilde performansa etki etmektedir.

Bu ngrlmezlik için birçok araştırmacı modeller sunmaktadır. Fotovoltaik sistem gücünü doğru tahmin edebilmek için verilerden hareketle regresyon analizi kullanmamız gerekmektedir. Bu veriler ise hava durumu verileri; sıcaklık, bulut, nem, rüzgar yn gibi sayaç verileri ve güneş radyasyon verileri; güneş enerjisinin minimum, maksimum ve anlık değerleri gibi verilerden oluşmaktadır [65].

2.6 FV Sistem Ekonomi ve Ekoloji

Güneş enerjisi devlet politikaları ve maliyet düşüşüne sebep olan teknolojik gelişmelerden dolayı bir büyüme yaşamaktadır. Başlarda küçük ölçekli fotovoltaik hücreler yerini gitgide büyük ölçekli ve şebekeye enerji aktaran sistemlere bırakmaktadır. Teknolojik gelişmelerle 1982’de 27.000 \$/kW olan maliyet 2006’da 4.000 \$/kW’a düşmüş, kurulu maliyet ise 1992’de 16.000 \$ iken 2008’de 6.000 \$/kW’ a düşmüştür. Teorik olarak enerji talebinin karşılanmasını çok aşan bir kaynak potansiyeline sahip olsa da gerçeğe kıyasla hala çok düşük enerji getirileri sağlamaktadır [66].

Fotovoltaik sistemlerde elektrik üretimi için bir santralde ölçülmesi kolaydır ancak bunu bir ülke için hesaplamak daha karmaşık bir olaydır. Aralık ayında kurulan bir sistem normal elektrik üretiminin küçük bir kısmını üretmiş olacak, binalardaki sistemler optimum yönde olmayabilir ve gölgelenme etkisinde de kalmış olabilmektedir. Bunun için yıl sonu kümülatif fotovoltaik kapasiteden tahminler yapılmaktadır [67]. Çizelge 2.1’ de 16 mart 2018 itibariyle geçerli olan bilgiler dahilinde bazı ülkelerin verileri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 Bazı ülkelerin FV enerji kapasiteleri [67]

	YILLIK KURULAN KAPASİTE	KÜMÜLATİF KURULMUŞ KAPASİTE
Çin	53 GW	131 GW
ABD	10,6 GW	51 GW
Japonya	7 GW	49 GW
Türkiye	2.6 GW	3.4 GW
Almanya	1.8 GW	42 GW
Avustralya	1.25 GW	7.2 GW
Kore	1.2 GW	5.6 GW
Fransa	875 MW	8 GW
Hollanda	853 MW	2.9 GW
Şili	668 MW	1.8 GW

Çizelge 2.2 Toplam FV kapasite bakımından ilk 10 ülke [67]

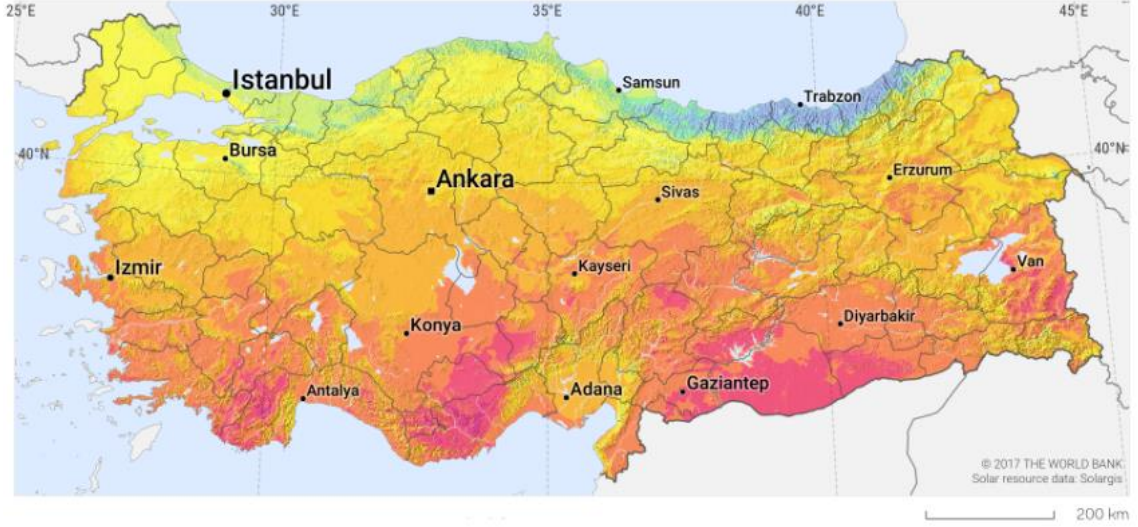
Çin	131 GW
ABD	51 GW
Japonya	49 GW
Almanya	42 GW
İtalya	19.7 GW
Hindistan	18.3 GW
Birleşik Krallık	12.7 GW
Fransa	8 GW
Avustralya	7.2 GW
İspanya	5.6 GW

Alışıl gelmiş enerji kaynaklarına göre önemli çevresel faydalar sağlayan Fotovoltaik sistemler sürdürülebilir kalkınmaya önemli katkılarda bulunabilmektedir. Fosil yakıtlara temiz bir alternatif oluşturması, sera gazı emisyonları üretmemesi, ekonomik refah düzeyine katkıda bulunması önemini göstermektedir [68]. Politika yapıcıların Fotovoltaik sistemlere daha fazla önem vermesi ve yapılacak yönlendirmeler doğrultusunda hem ülkesel hem de küresel olarak istihdam sağlaması ve çevreye olabildiğince az zarar vermesi sağlanacaktır.

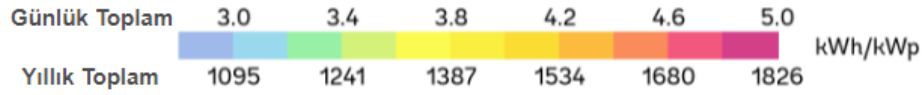
Bununla beraber silikon bazlı fotovoltaik sistemlerin üretim prosesleri elektronik endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Elektronik atıkta bulunan kurşun, bromlu alev geciktiriciler, krom gibi kimyasallar fotovoltaik sistemde de bulunmaktadır ve günümüzde fotovoltaik sistemlerin oluşturduğu atık miktarı fazla olmadığından geri dönüşümü de uygun görülmemektedir. Fotovoltaik sistemlerin üretiminde bulunan yanıcı, patlayıcı ve toksik maddeler güneş pili imalatında çalışanlar için tehlikeler oluşturmaktadır. Fotovoltaik sistemler toprak erozyonuna sebebiyet vermekte ve tarımla adeta bir yarış halinde bulunmaktadır [68].

2.7 Türkiye ve Güneş Enerjisi

Türkiye güneş kuşağı adı verilen enlemler arasında bulunmaktadır. Güneş radyasyonu bakımından oldukça verimli bir konuma sahiptir. Türkiye ortalama 7,49 saat güneşlenme süresi ve günlük ortalama 4,17 kWh/m².gün güneş radyasyonuna sahiptir. Türkiye sahip olduğu bu yüksek güneşlenme süresi ve güneş radyasyon miktarını kullanamamakta ve enerji bağımlılığı devam etmektedir. Bu yönde yapılacak yatırım ve teşviklerle sahip olduğumuz güneş enerjisi potansiyelimizi kullanabilir hale getirmemiz; enerji bağımlılığımızdan kurtulmamızı ve daha ileriki zamanlarda enerji ihraç edebilmemizi sağlayacaktır.

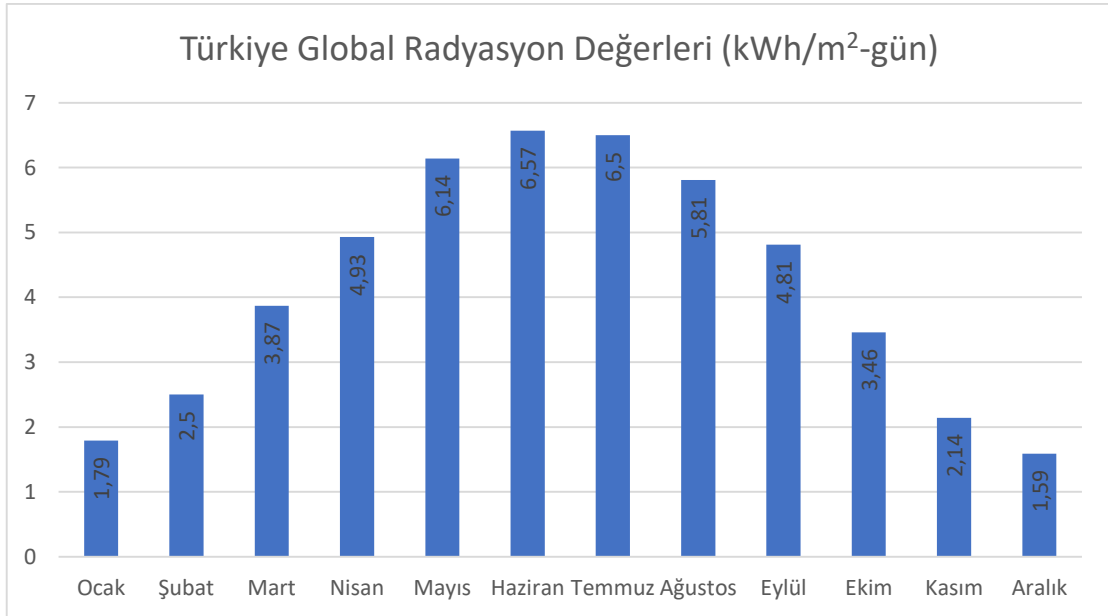


PV çıkışının uzun vadeli ortalaması, 1994'ten (doğuda 1999) 2015 yılına kadar geçen süre

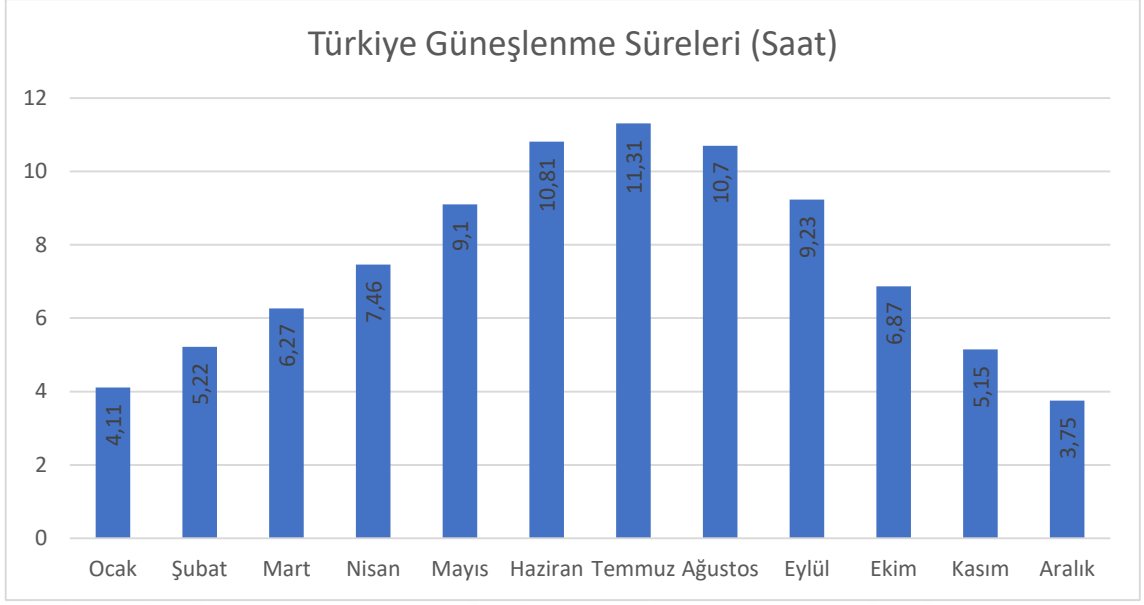


Şekil 2.17 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası [69]

Şekil 2.17' de görüldüğü gibi Türkiye genel itibariyle yüksek güneşlenme potansiyeline sahiptir. Güneşlenme potansiyeli Akdeniz Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde oldukça yüksektir. Şekil 2.18' de Türkiye global radyasyon değerleri ve Şekil 2.19' da güneşlenme süreleri gösterilmektedir.



Şekil 2.18 Türkiye global radyasyon değerleri [70]



Şekil 2.19 Türkiye güneşlenme süreleri [70]

3. MATERYAL VE METOT

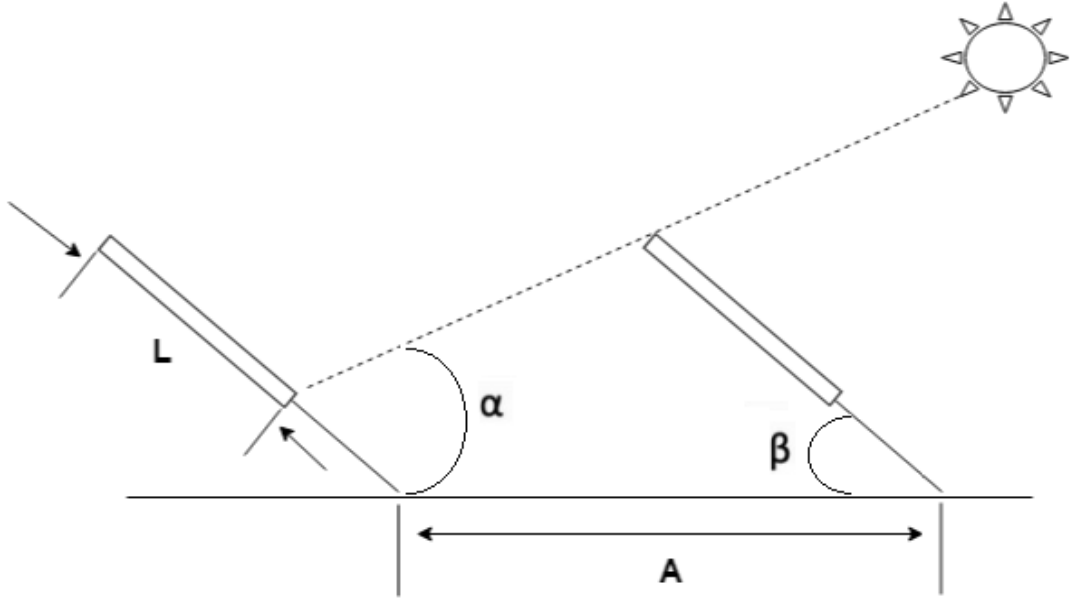
3.1 Güneş Paneli Eğim Açısı

Fotovoltaik paneller kullanılarak oluşturulan sabit eğik sistemlerde panellerin yatayla yaptığı açı maksimum verim sağlanması açısından çok önemlidir. Uygun açıyla yerleştirilen panellere öğle vakitlerinde güneş ışınları dik gelecektir. Böylece panellerden maksimum elektrik enerjisi üretimi sağlanacaktır.

Bir konumun enlemine θ dersek Güneş panelleri için en iyi ortalama yaz performansı $(\theta-15)^\circ$, en iyi ortalama kış performansı için $(\theta+15)^\circ$, optimum yıllık performans için ise $(\theta \times 0.9)^\circ$ olmaktadır [71].

Sivas ilinde yıllık en iyi performans için panellerin eğim açısı $39.4 \times 0.9 = 35.46^\circ$ seçilmelidir.

3.2 Güneş Panelleri Arasındaki Mesafe



Şekil 3.1 Paneller arasındaki mesafe [72]

Şekil 3.1’ de panellerin birbiri üzerine gölgelenme etkisi gösterilmektedir. Paneller arasındaki mesafeyi uygun olarak ayarlamak, panellerin birbiri üzerindeki gölgeleme etkisini en aza indirmek bakımından çok önemlidir.

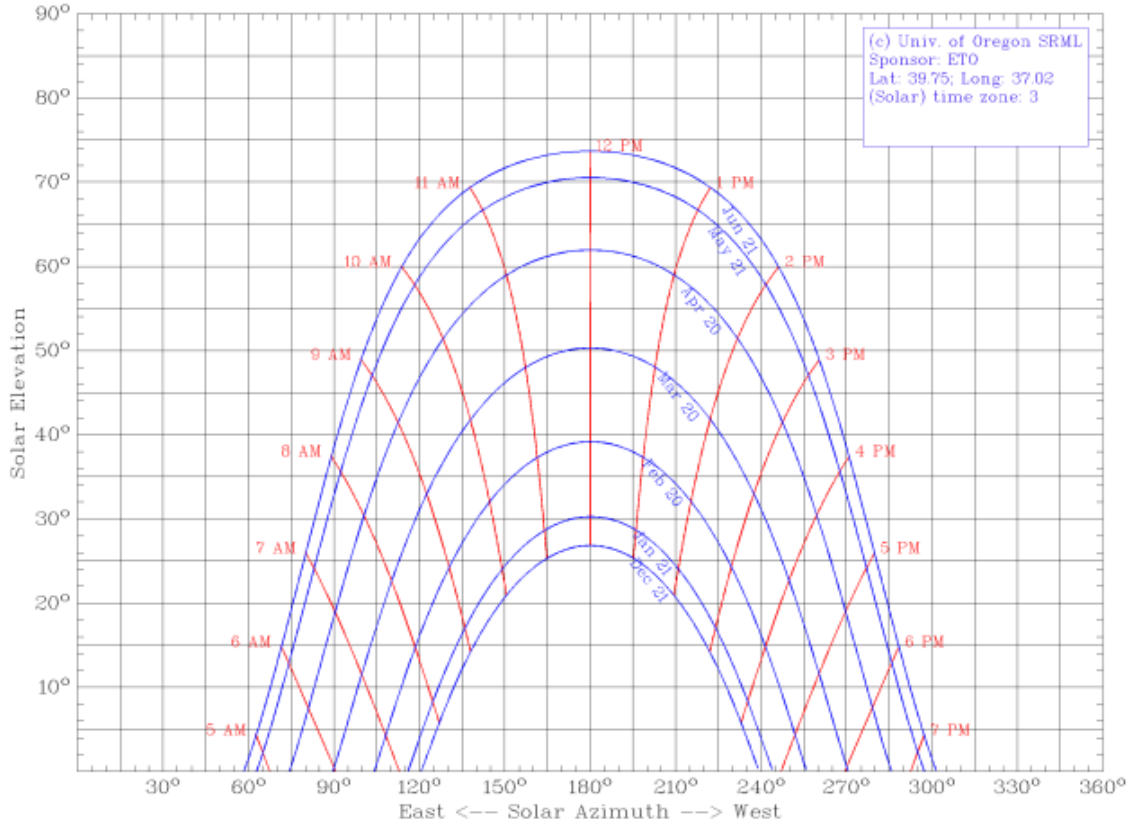
Paneller arasındaki mesafenin minimum açıklığı Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2’ de formülize edilmektedir.

$$H = \sin\beta \times L \quad [3.1]$$

Burada H modülün yataya olan yüksekliğidir.

$$A = \left[H \frac{\cos(\text{azimuth düzeltme açısı})}{\tan(\text{yükseklik açısı})} + (\cos\beta \times L) \right] \quad [3.2]$$

Sivas için güneş yolu grafiği Oregon Üniversitesi güneş yolu programı ile elde edilmiştir. Güneş yolu grafiği Şekil 3.2' de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Güneş yolu grafiği

21 Haziran solstis günü güneş ışınları en dik açıyla geleceğinden dolayı gölge boyu en düşük seviyesindedir. 21 Aralık solstis günü ise güneş ışınları en dar açıyla gelmekte ve gölge boyunun en yüksek seviyesi gözlemlenmektedir. 21 Mart ve 23 Eylül tarihinde ise gölge boyu bu iki değer arasında seyretmektedir. Gerekli analizler için gölge boyunun kuzey yarı kürede en yüksek seviyesine ulaştığı 21 Aralık tarihi seçilmiştir. Saat 9.00 ve 15.00 için yükseklik açısı 14° ve azimuth düzeltme açısı 43° olmaktadır.

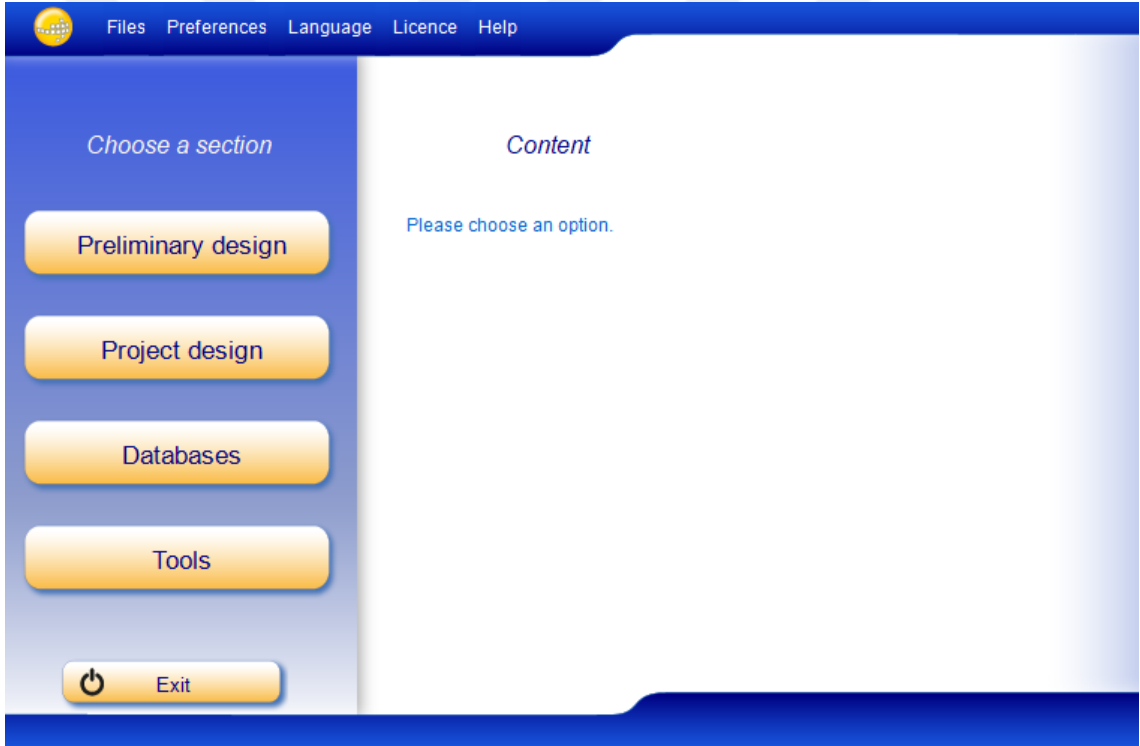
$$H = 1,954 \times \sin 35.46 = 1,133m \quad [3.3]$$

$$A = \left[1,133 \times \frac{\cos 43}{\tan 14} + (1,954 \times \cos 35.46) \right] = 4,915m \quad [3.4]$$

3.3 PVsyst Programı

PVsyst programı, Windows temelli İsviçre’ de geliştirilmiş fotovoltaik sistemler için ayrıntılı çalışma, boyutlandırma, saatlik simülasyon sonuçlarını yapan paket programdır. Program erken bir inceleme için ön dizayn ve ayrıntılı bir inceleme için proje dizaynı sunmaktadır. Veritabanında bir çok bölge için güneş radyasyon verileri ve fotovoltaik bileşen verileri bulunmaktadır. Veritabanında olmayan güneş radyasyon verileri ve fotovoltaik bileşen verisi veritabanına eklenebilmektedir. Program güneş radyasyon değerlerini Meteororm’ dan sağlamaktadır. PVsyst içerdiği birçok parametreden dolayı benzer programlara göre gerçek değerlere oldukça yakın sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca programda ekonomik fizibilite çalışması da yapılabilmektedir.

Aşağıdaki şekilde PVsyst programı giriş ekranı gösterilmektedir.



Şekil 3.3 PVsyst programı giriş ekranı

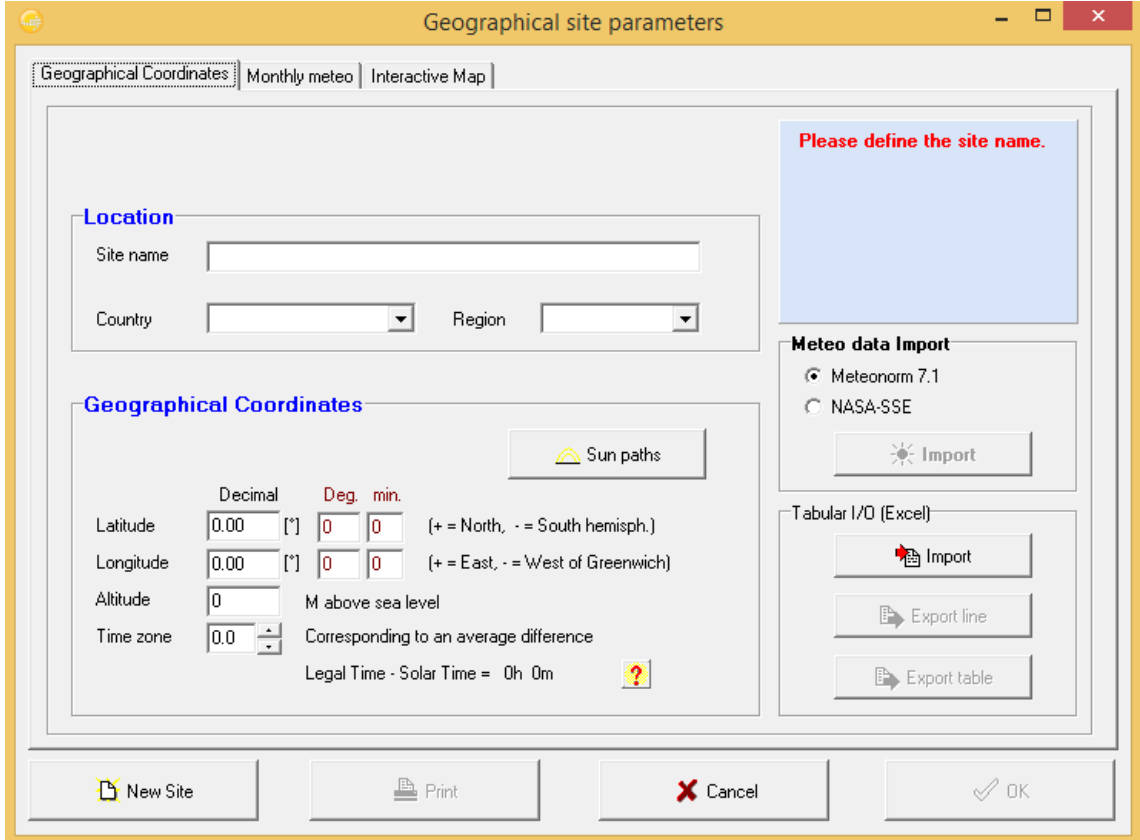
PVsyst programı giriş ekranında erken bir tasarım için ön tasarım, ayrıntılı bir inceleme için proje dizaynı, veritabanları ve araçlar menüsü kullanıcının karşısına çıkmaktadır. Programda ilk önce erken bir inceleme için ön tasarım sekmesi seçilmelidir. Ön tasarım seçildikten sonra kullanıcının karşısına şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, su pompalama sistemleri seçenekleri çıkmaktadır. Şekil 3.4’ de ön tasarım sistem tipi seçim ekranı gösterilmektedir.



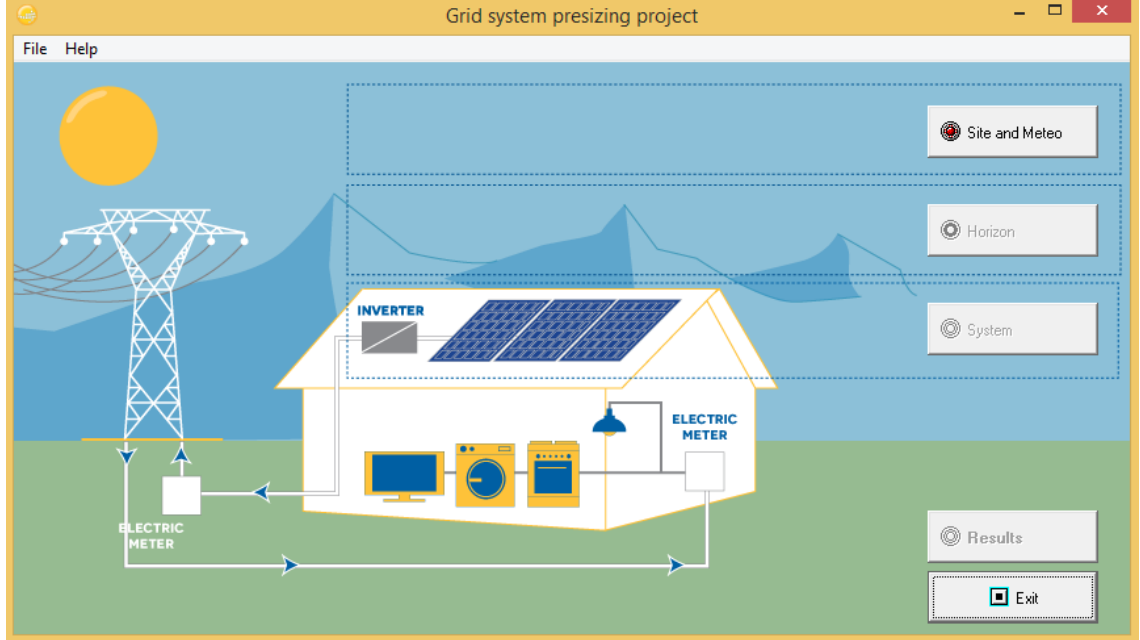
Şekil 3.4 Ön tasarım sistem tipi seçim ekranı

Ön tasarım sistem tipi seçim ekranı açıldığında grid-connected (şebekeye bağlı), stand alone (şebekeden bağımsız) ve pumping (su pompalama sistemleri) olmak üzere 3 tip sistem seçeneği karşımıza gelmektedir. İstenilen sistem seçildikten sonra sırasıyla 'site and meteo, horizon, system, result' sekmeleri kullanıcının karşısında çıkmakta ve ön tasarım hazırlanmaktadır.

'Site and meteo' kısmından sistemin kurulacağı bölge seçilmekte ve program veritabanından radyasyon verileri oluşturulmaktadır. Eğer sistem veritabanında istenilen bölge yoksa 'Databases' menüsünden 'Geographical sites' sekmesinde 'New' ile yeni bir alan tanımlanabilmektedir. Yeni bir alan açıldıktan sonra 'Geographical coordinates' ve 'Monthly meteo' sekmeleri takip edilerek kullanıcı tarafından veriler eklenebilir veya 'Interactive map' sekmesi yardımıyla haritadan istenilen bölge seçilebilmekte ve program otomatik olarak değerleri vermektedir. Şekil 3.5' de coğrafi bölge parametrelerinin tanımlandığı ekran ve Şekil 3.6' da ön tasarım ekranı gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Coğrafi bölge parametreleri tanımlama ekranı



Şekil 3.6 Ön tasarım ekranı

Ön tasarım ekranında sırası ile 'Site and meteo, horizon, system' kısımları takip edilmeli ve 'results' kısmında erken bir tasarım için sonuçlar çıkmaktadır. Net olmayan bir sistem maliyeti tahmini de mevcuttur.

Ayrıntılı bir inceleme için 'Project design' kısmında ise önümüze ilk olarak sistem tipi çıkmaktadır. Şekil 3.7' de proje tasarımı sistem tipleri gösterilmektedir.

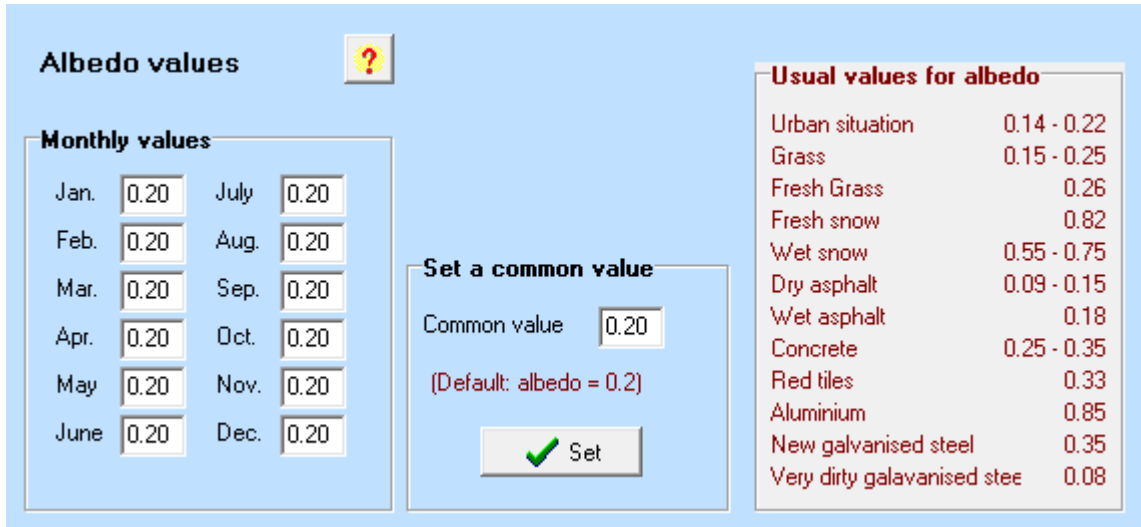


Şekil 3.7 Proje tasarımı sistem tipleri

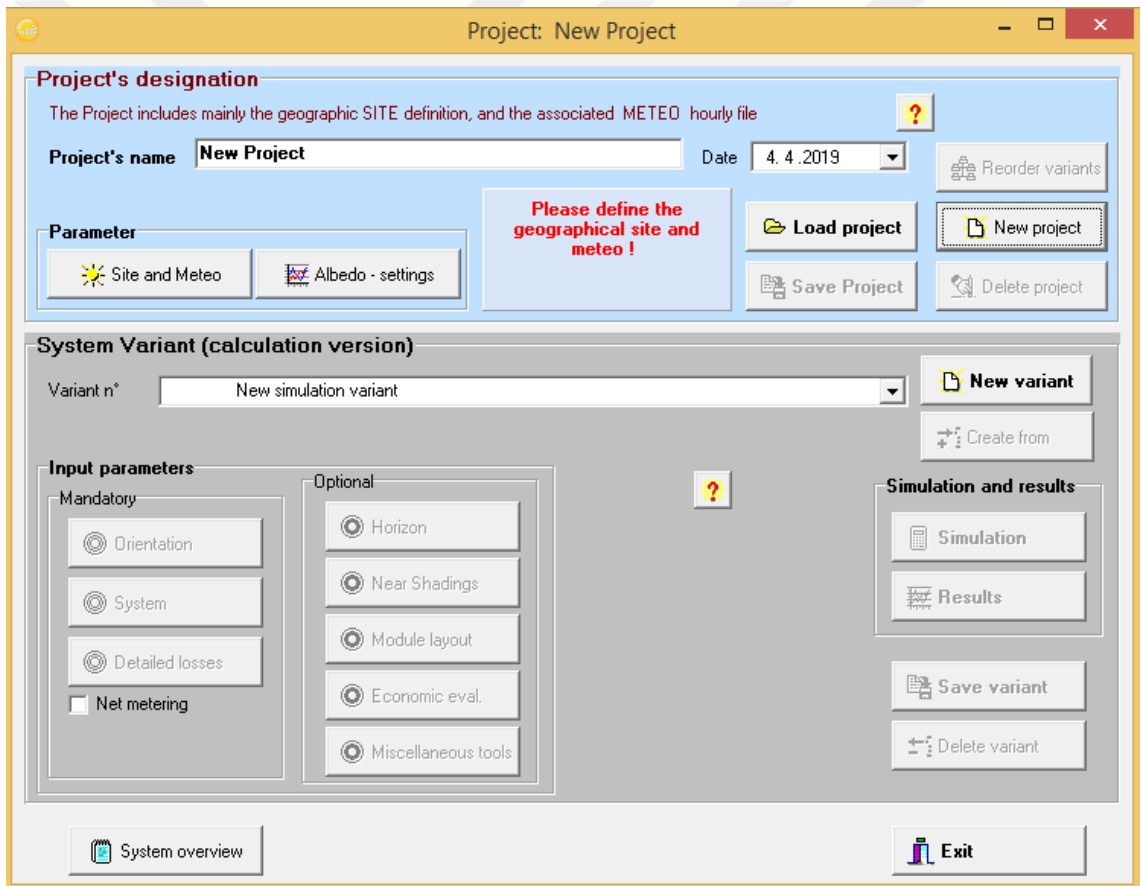
Proje dizaynı menüsünde şebekeye bağlı sistemler, şebekeden bağımsız sistemler, su pompalama sistemleri ve DC şebeke olmak üzere dört tane sistem tipi karşımıza çıkmaktadır. İstenilen sistem tipi belirlendikten sonra yer seçimi ve albedo değerleri girilmelidir.

Albedo, yüzeyden yansıyan güneş ışığının kesri olarak tanımlanmaktadır. Kentsel bölgelerde 0,14-0,22 arasında varsayılmakta, karla kaplı bölgeler için ise 0,8' e kadar çıkabilmektedir. Genel olarak ve PVsyst' te varsayılan değer 0.2' dir [73].

Sırasıyla 'Orientation, system, detailed losses' kısımlarına istenilen veriler girilmelidir. Ardından isteğe bağlı olarak 'horizon, near shading, module layout, economic evaluation, miscellaneous tools' kısımlarına veriler girilmelidir. Şekil 3.9' da proje tasarım ekranı gösterilmektedir.

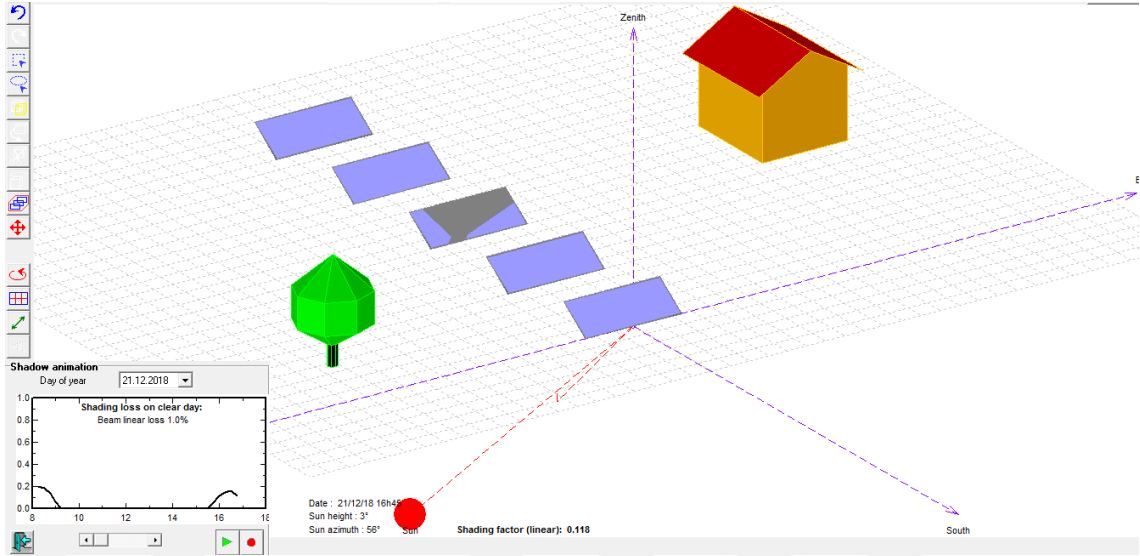


Şekil 3.8 Albedo ekranı



Şekil 3.9 Proje tasarım ekranı

Programda detaylı gölgeleme analizleri için çizim ekranı bulunmaktadır. Böylece panellerin kurulumu yapılacak yeri ve konumu ekstra gölgeleme unsuru içeriyorsa çizilebilmekte ve panellere yıl içindeki etkisi gözlenmektedir. Şekil 3.10' da gölgeleme analizleri çizim ekranı gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Gölgeleme analiz ekranı

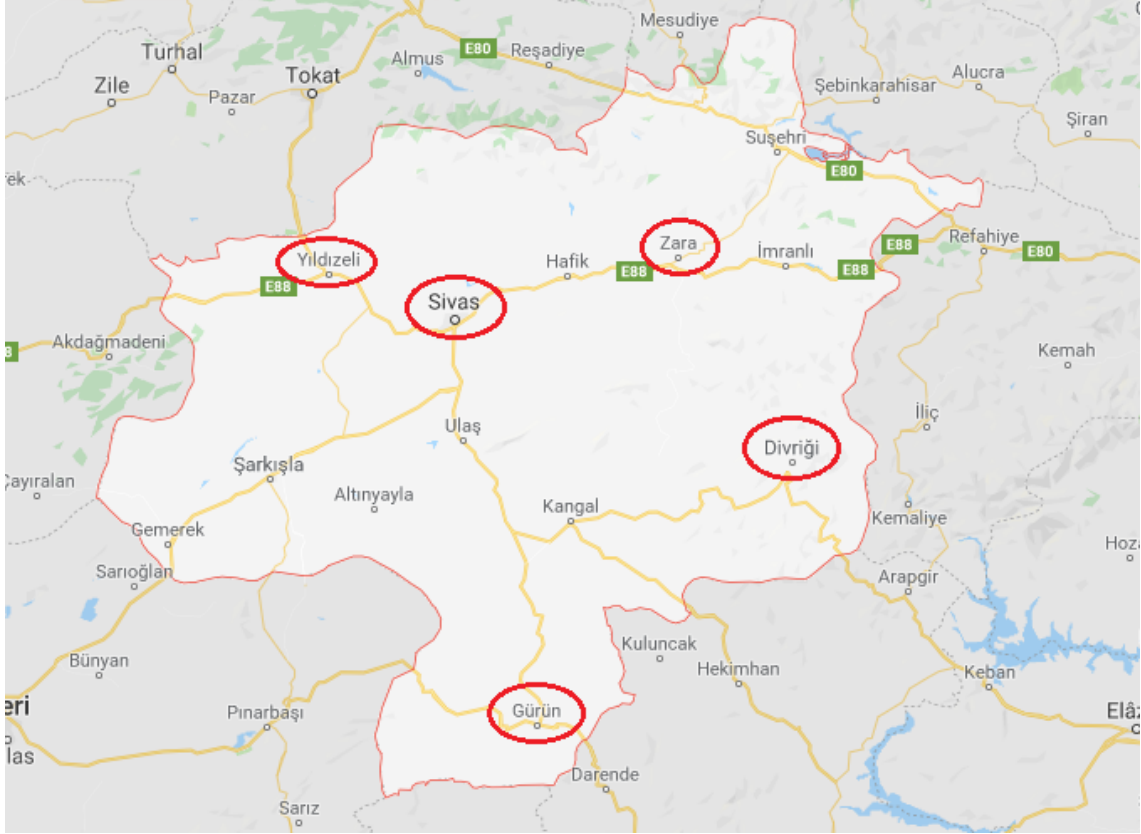
Ayrıca programda detaylı ekonomik analizlerin gerçekleştirileceği bir seçenek de bulunmaktadır. Şekil 3.11’ de ekonomik analiz ekranı gösterilmektedir.

Şekil 3.11 Ekonomik analiz ekranı

3.4 Proje Yer Seçimi

Proje kurulumu için yer seçimi yapılırken arazinin eğimi, toprak türü, güneye cephesi, tarım arazisi olmaması ve ulaşım durumu gibi özellikler gözönünde bulundurulmalıdır.

Kurulumu gerçekleştirecek santral için 180 dönümlük bir arazi seçilmiştir. Seçilen araziler sanayi bölgelerine yakın olarak seçilmiş olup arazi fiyatları ilgili belediyelerden elde edilmiştir. Şekil 3.12’ de ekonomik fizibilite gerçekleştirilecek ilçeler gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Ekonomik fizibilite gerçekleştirilecek ilçeler

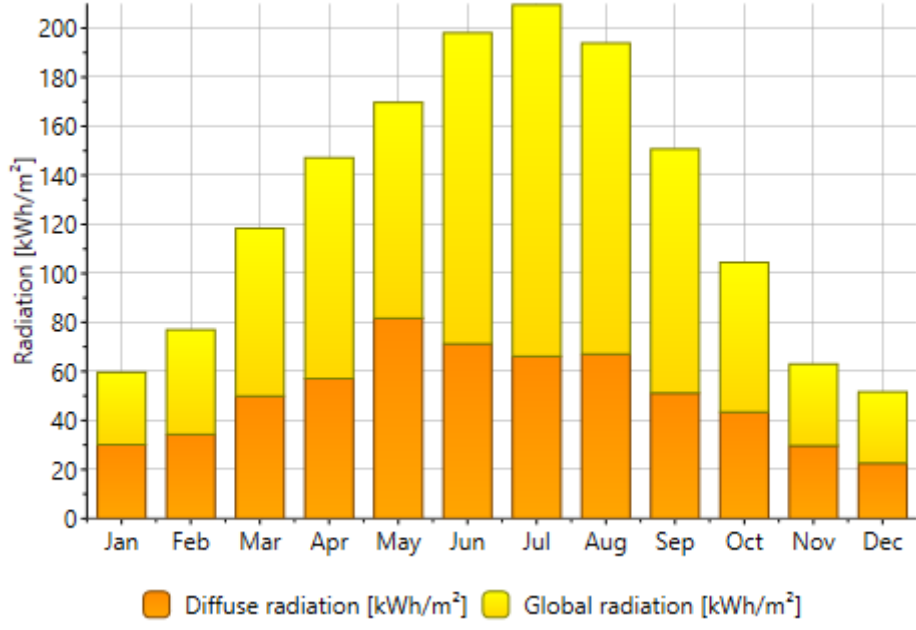
Proje alanları için:

- Ulaşım altyapısının olduğu
- Arazi eğimi, toprak türü gibi proje inşasına uygunluğu
- Arazilerde gölge yaratacak yapı veya bitki örtüsü olmadığı
- Proje alanlarının enerji nakil hattına yakın olduğu

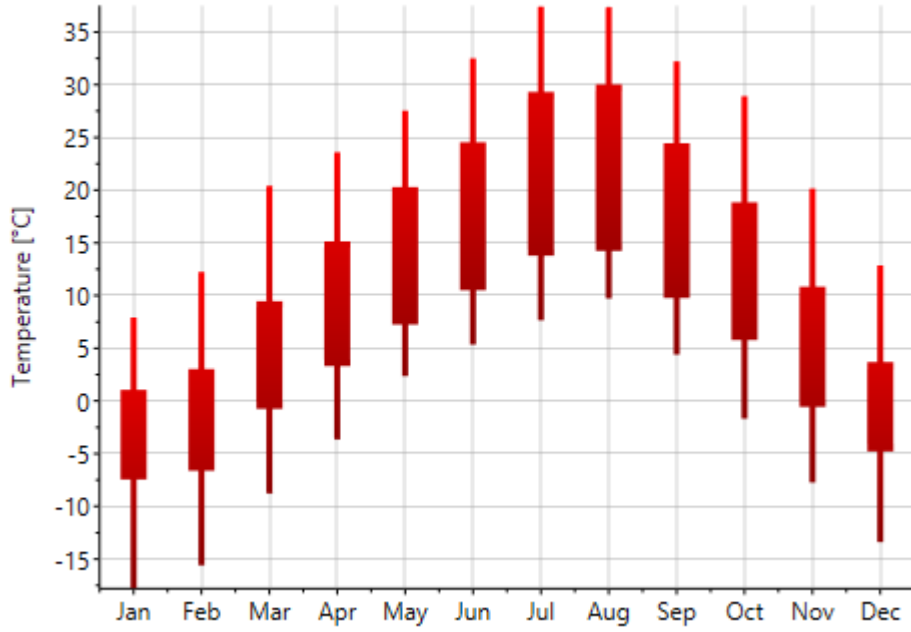
varsayılmıştır.

3.5 İklimsel Veriler

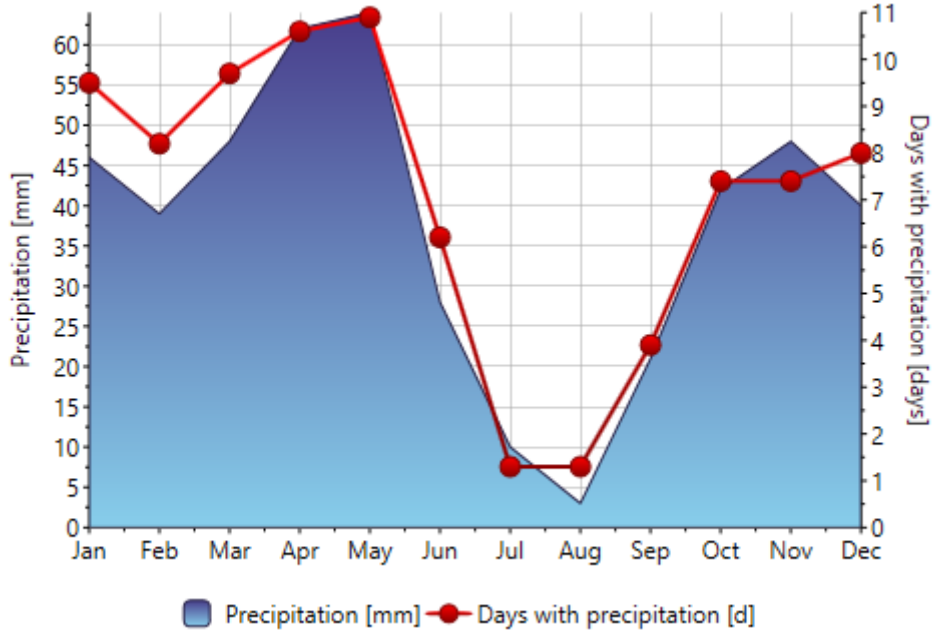
Güneş santralleri için önemli unsurlardan biri de kurulumun gerçekleştirileceği bölgenin iklimsel verileridir. Ekonomik fizibilite yapılacak bölgeler için iklimsel veriler Meteonorm programı ile elde edilmiştir. Şekil 3.13 – Şekil 3.27 arasındaki şekillerde bu veriler gösterilmektedir.



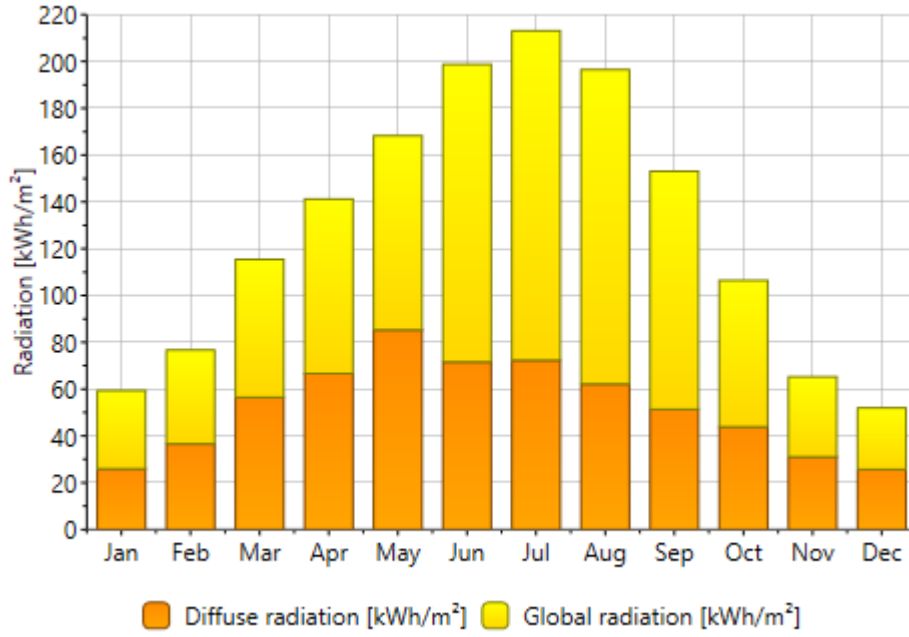
Şekil 3.13 Sivas/Merkez aylık ışınım grafiği



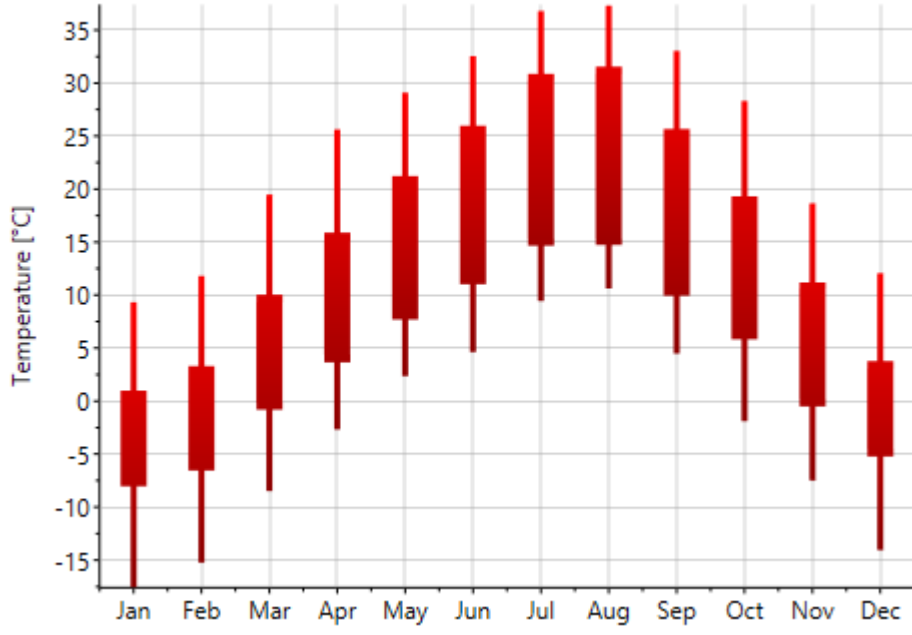
Şekil 3.14 Sivas/Merkez aylık sıcaklık grafiği



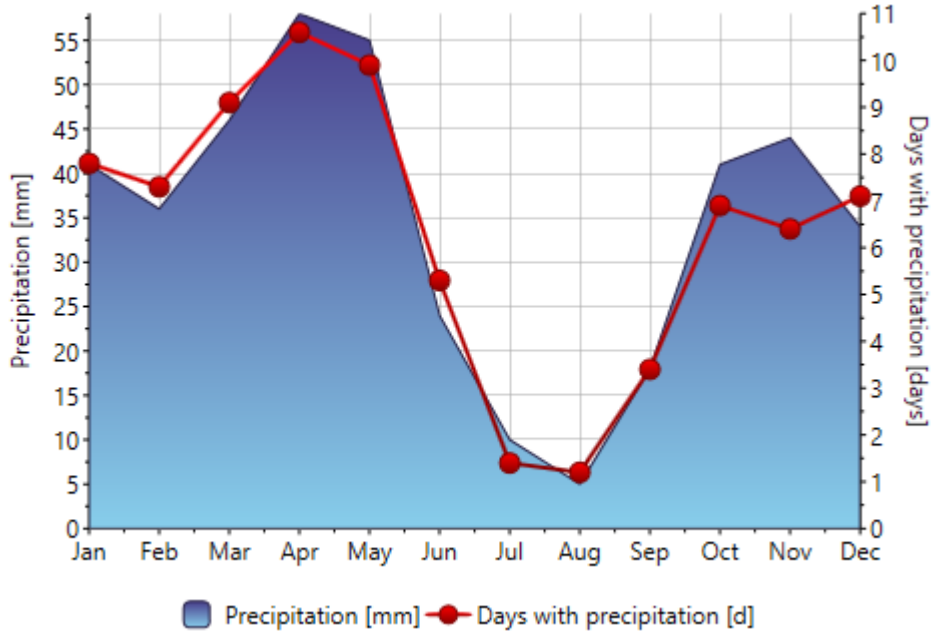
Şekil 3.15 Sivas/Merkez aylık yağış grafiği



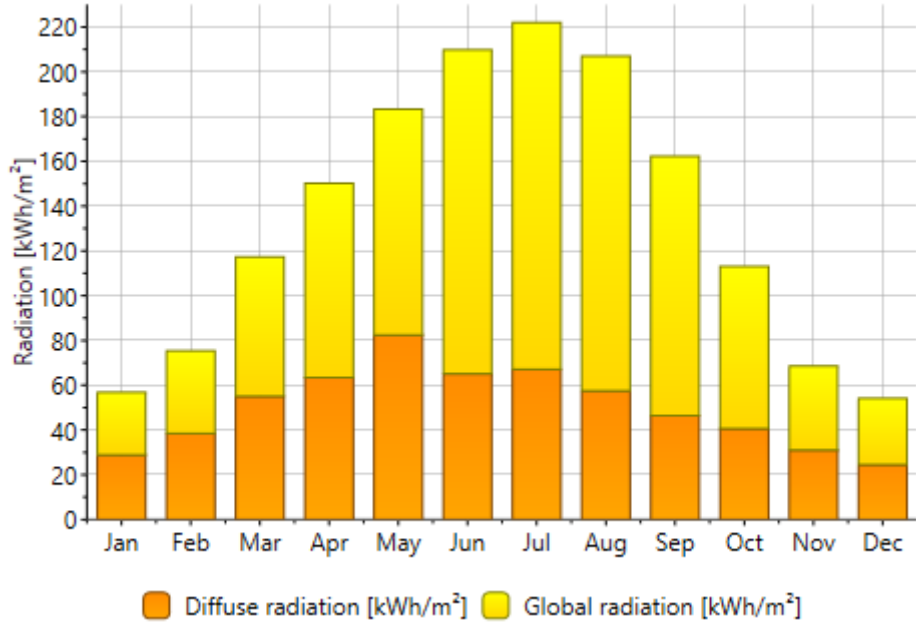
Şekil 3.16 Divriği aylık ışınım grafiği



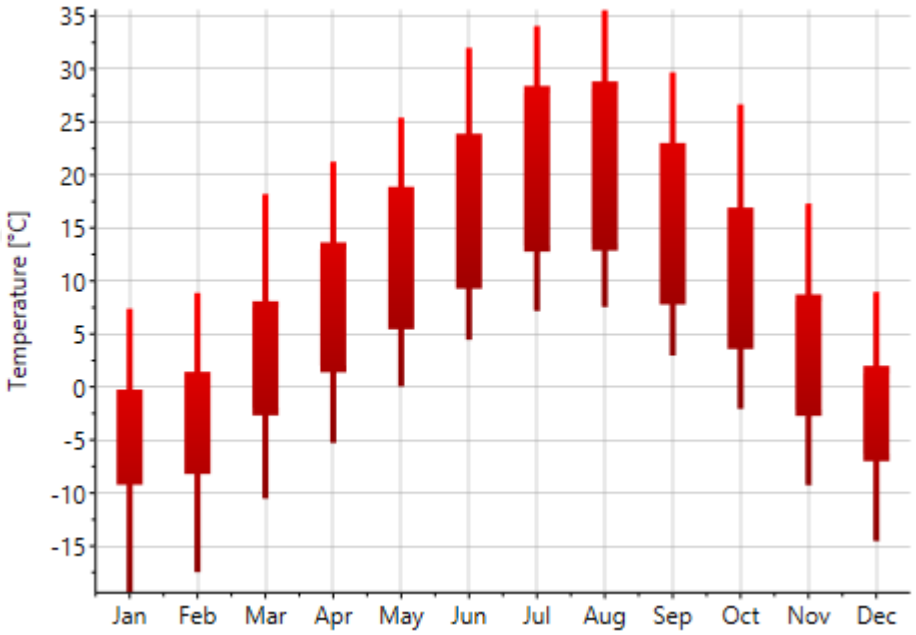
Şekil 3.17 Divriği aylık sıcaklık grafiği



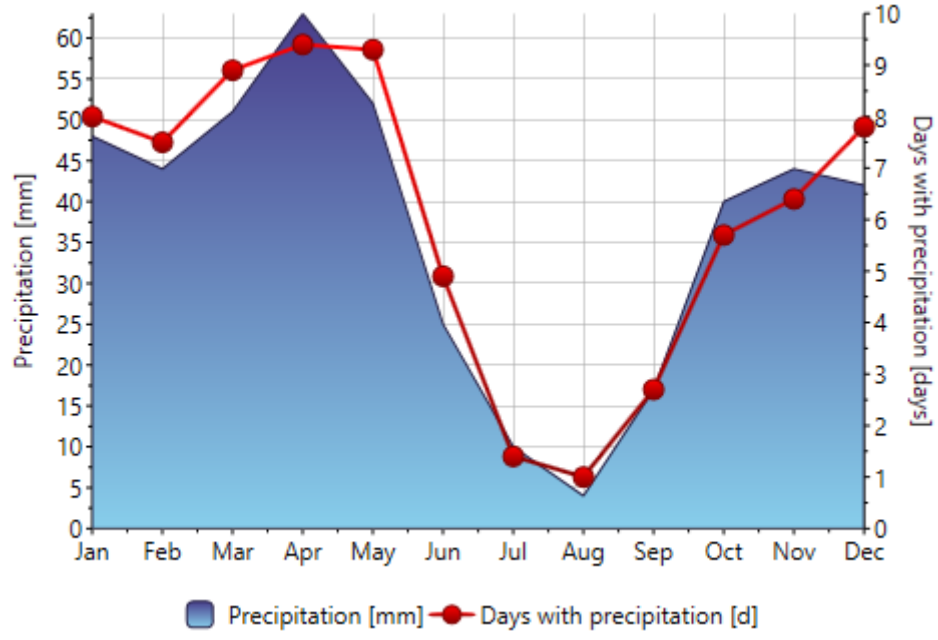
Şekil 3.18 Divriği aylık yağış grafiği



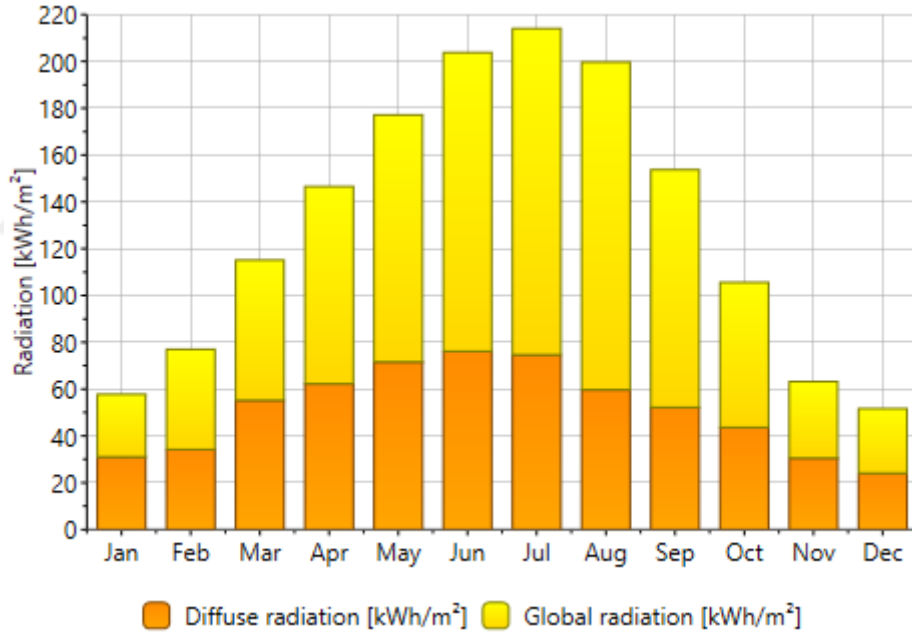
Şekil 3.19 Gürün aylık ışınım grafiği



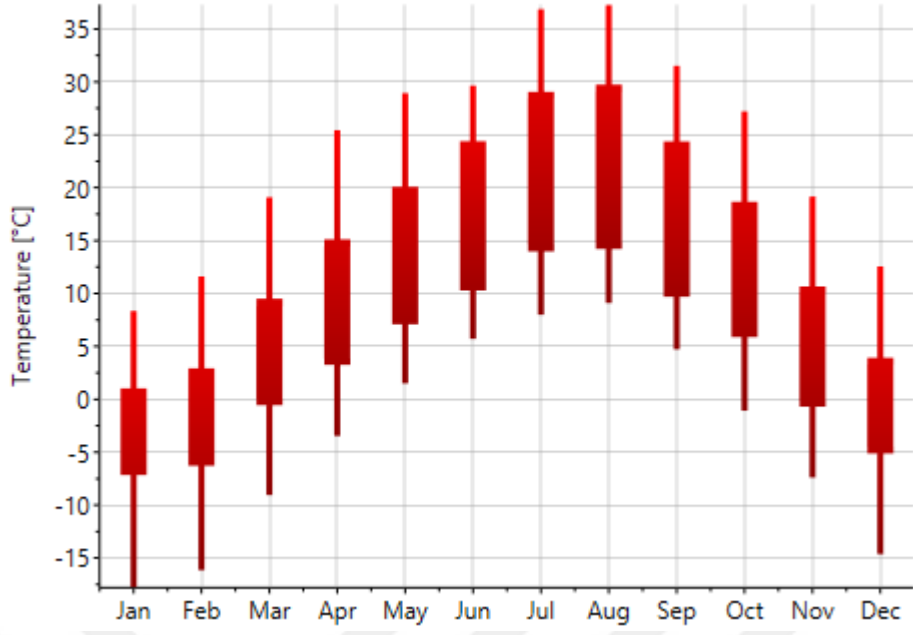
Şekil 3.20 Gürün aylık sıcaklık grafiği



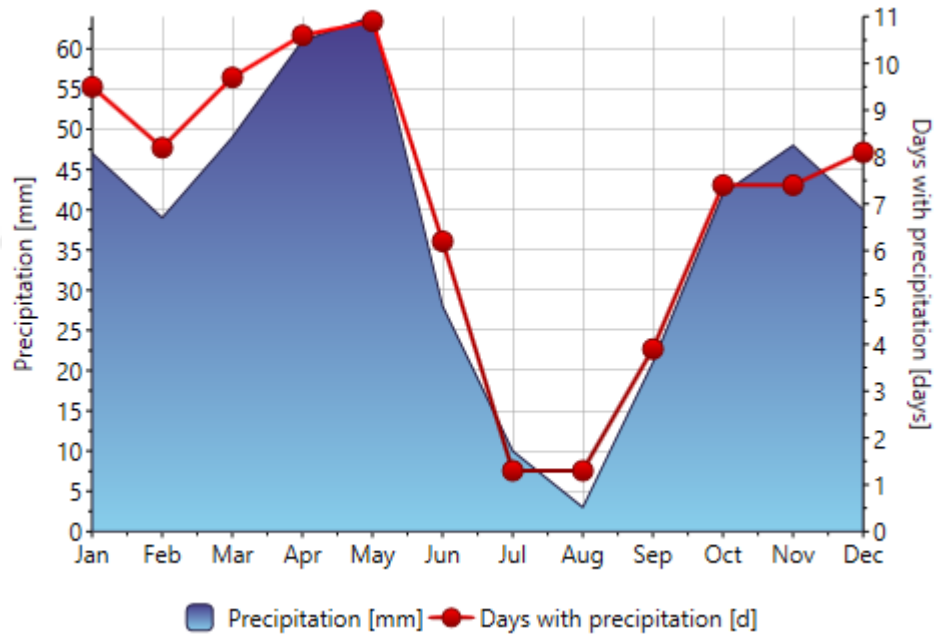
Şekil 3.21 Gürün aylık yağış grafiği



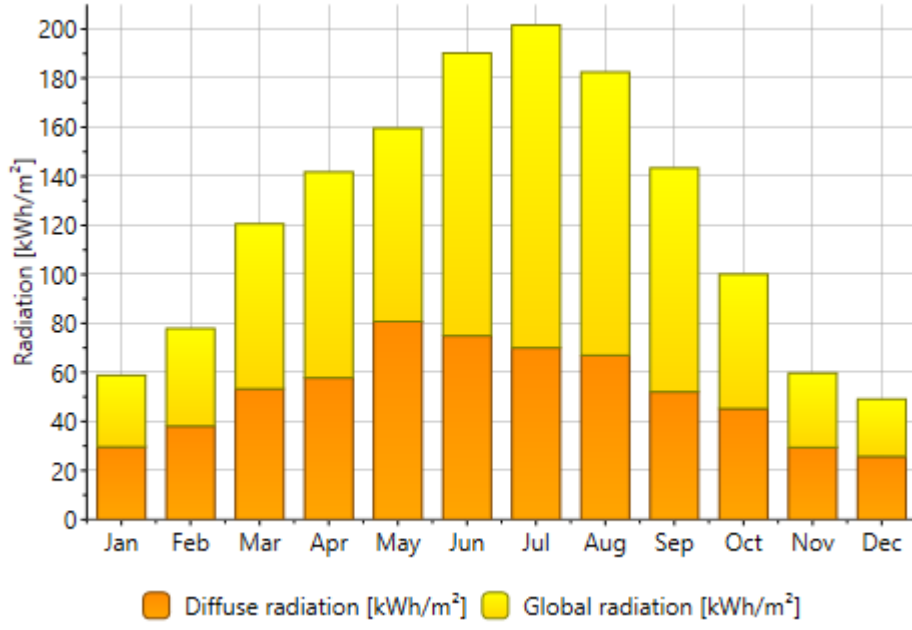
Şekil 3.22 Yıldızeli aylık ışınım grafiği



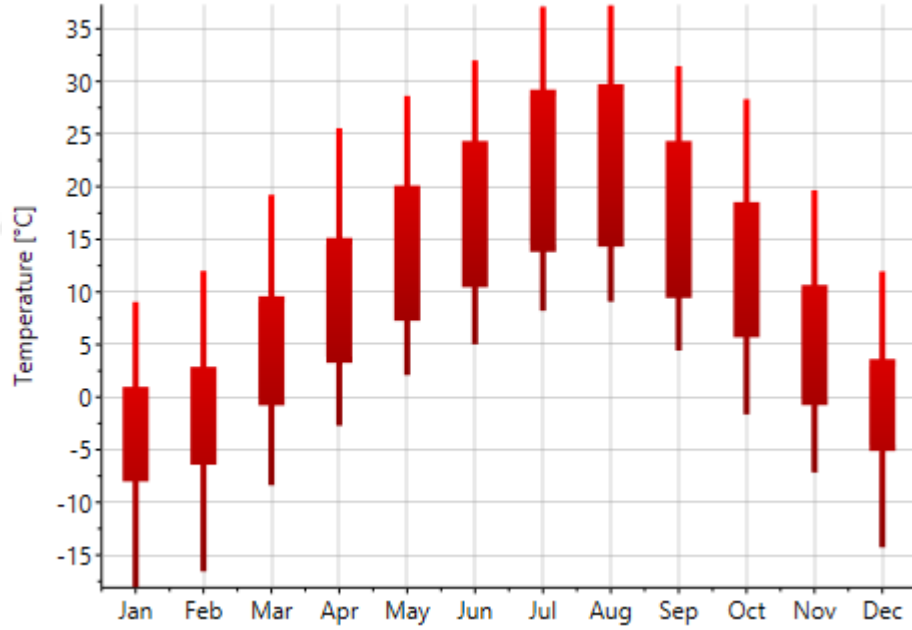
Şekil 3.23 Yıldızeli aylık sıcaklık grafiği



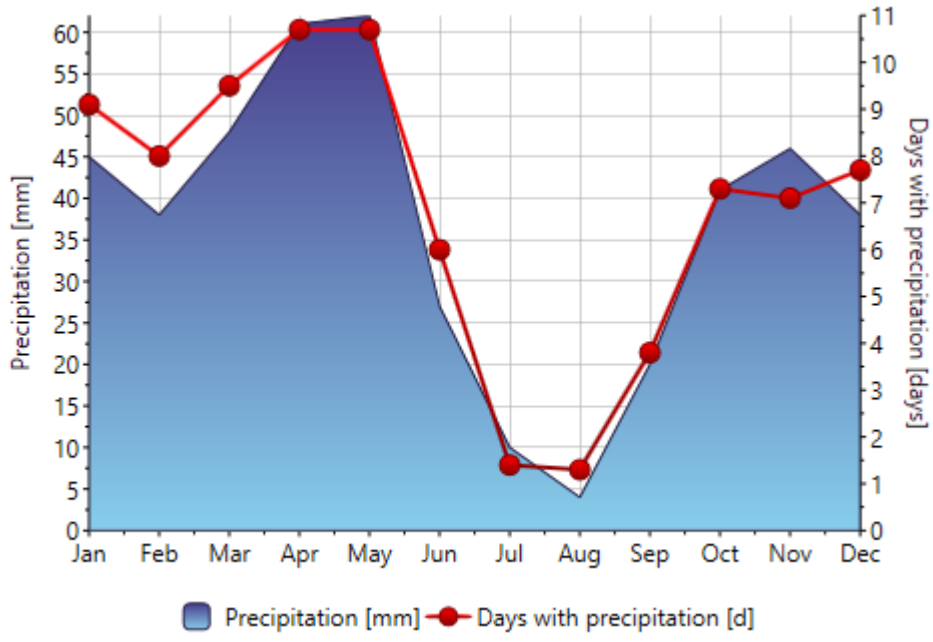
Şekil 3.24 Yıldızeli aylık yağış grafiği



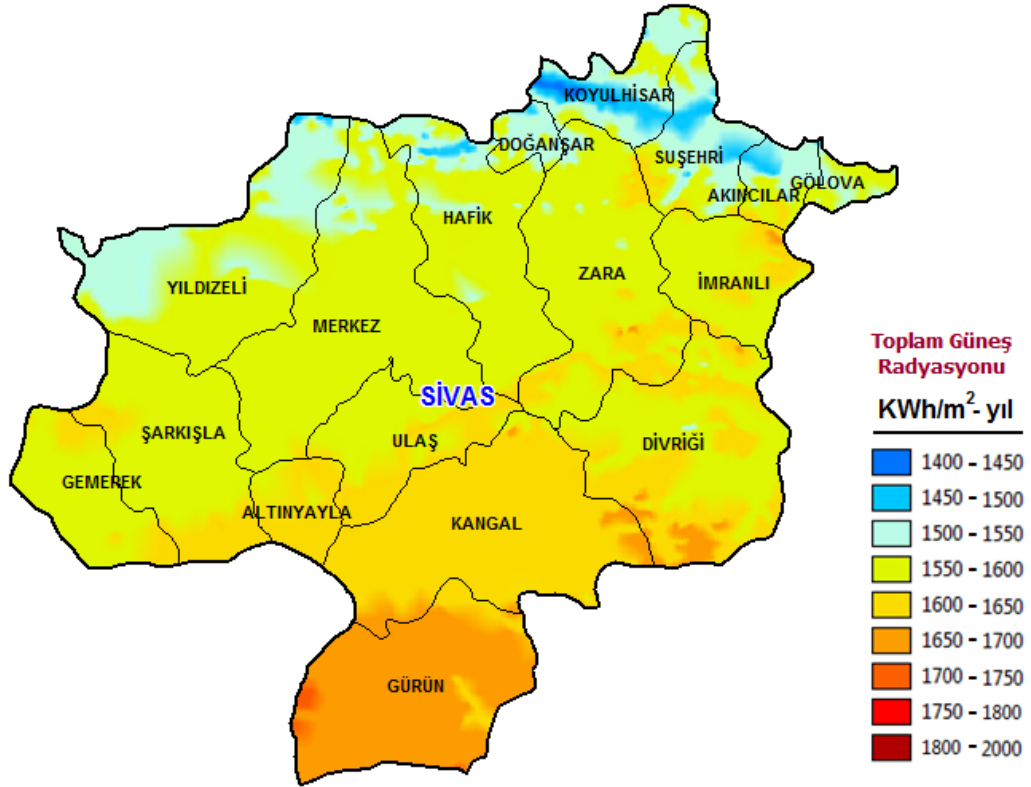
Şekil 3.25 Zara aylık ışınım grafiği



Şekil 3.26 Zara aylık sıcaklık grafiği



Şekil 3.27 Zara aylık yağış grafiği



Şekil 3.28 Sivas ili güneşlenme haritası [74]

Albedo values

Monthly values

Jan.	0.82	July	0.20
Feb.	0.82	Aug.	0.20
Mar.	0.60	Sep.	0.20
Apr.	0.26	Oct.	0.20
May	0.20	Nov.	0.60
June	0.20	Dec.	0.82

Set a common value

Common value

(Default: albedo = 0.2)

Usual values for albedo

Urban situation	0.14 - 0.22
Grass	0.15 - 0.25
Fresh Grass	0.26
Fresh snow	0.82
Wet snow	0.55 - 0.75
Dry asphalt	0.09 - 0.15
Wet asphalt	0.18
Concrete	0.25 - 0.35
Red tiles	0.33
Aluminium	0.85
New galvanised steel	0.35
Very dirty galvanised steel	0.08

Şekil 3.29 Kurulumu yapılacak arazi albedo değerleri

3.6 Tasarım

Kurulacak sistem; sabit eğik sistem olarak düşünülmüştür. Bu sistemlerde eksen sabit olmakla beraber optimum açığa göre dizayn edilmektedir. Kurulacak sistemin eğim açısı ve azimuth açısı Şekil 3.30’ da gösterilmektedir.

Field type Fixed Tilted Plane

Field Parameters

Plane Tilt [°]

Azimuth [°]

Optimisation by respect to

Yearly irradiation yield

Summer (Apr-Sep)

Winter (Oct-Mar)

Tilt 35°

Azimuth 0°

West East

South

Year

Plane Tilt

FTranspos. = 1.17

Loss/opt. = 0.0%

Plane orientation

Şekil 3.30 Sabit eğik sistem ve optimum açı

Çizelge 3.1 Üretici ve Modeller

Ürün	Üretici	Model
Monokristal FV modül	Trina Solar Co	TSM-290DD05A.08(II)
Polikristal FV modül	Canadian Solar Inc.	CS6X-290P
İnvertör	Kaco New Energy	Powador 72.0 TL3 Park XL

Sistem monokristal ve polikristal olmak üzere iki farklı FV modül biçiminde tasarlanacaktır. Kurulum yapılacak sistem için Canadian Solar, Trina Solar firmalarının modülleri ve Kaco New Energy firmasının invertörü kullanılacaktır. İnvertör ve modüllere ait bilgiler eklerde verilmiştir. (EK1,EK2,EK3)

The screenshot displays the 'Global System configuration' window of a PV design software. The interface is divided into several sections:

- Global System configuration:** Shows 'Number of kinds of sub-arrays' set to 1 and a 'Simplified Schema' button.
- Global system summary:** A table showing:

Nb. of modules	34482	Nominal PV Power	10000 kWp
Module area	56440 m ²	Maximum PV Power	9912 kWdc
Nb. of inverters	148	Nominal AC Power	8880 kWac
- PV Array:**
 - Sub-array name and Orientation:** Name is 'PV Array', Orientation is 'Fixed Tilted Plane', Tilt is 34°, Azimuth is 0°.
 - Presizing Help:** 'No Sizing' is selected. 'Enter planned power' is 10000.0 kWp, and '... or available area' is 56442 m².
 - Select the PV module:** 'All modules' dropdown is set to 'Trina Solar'. Module details: 290 Wp 27V Si-mono TSM-290DD05A.08(II) Since 2015. Approx. needed modules: 34483. Sizing voltages: Vmpp (60°C) 27.7 V, Voc (-10°C) 43.8 V.
 - Select the inverter:** 'Available Now' dropdown is set to 'Kaco new energy'. Inverter details: 60 kW 200 - 850 V TL 50/60 Hz Powador 72.0 TL3 Park XL Since 2011. Global Inverter's power: 8880 kWac. Input maximum voltage: 1000 V. Inverter with 3 MPPT.
 - Design the array:** 'Number of modules and strings' section shows 'Mod. in series' as 21 (checked between 8 and 22) and 'Nbre strings' as 1642 (checked between 1458 and 1642). 'Nb. modules' is 34482 and 'Area' is 56440 m². 'Operating conditions' table:

Vmpp (60°C)	581 V
Vmpp (20°C)	690 V
Voc (-10°C)	920 V

 'Plane irradiance' is 1000 W/m². 'Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C' is 9025 kW. 'Array nom. Power (STC)' is 10000 kWp.

Şekil 3.31 Sistem tasarım ekranı

Programda istenilen nominal güç değeri belirtilip FV modül ve invertör seçimi yapıldığında program otomatik olarak arazi alanı, modül sayısı, invertör sayısını vermektedir. Şekil 3.31' de sistem tasarım ekranı gösterilmektedir. Yapılmak istenen

tasarım için 56440 m² alan, 34482 adet modül, 148 adet invertör gerekmektedir. Belirlenen alan personel binası, yollar ve panel arası mesafelerde göz önünde bulundurularak yaklaşık 180000 m² alana çıkarılmıştır. Santral için 2 beyaz yakalı çalışan ve 4 mavi yakalı çalışan personel düşünülmüştür.

3.7 Maliyet Analizi

9.4.2019 tarihli Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası kur verileri baz alınarak finansal kabuller gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2 Kur dönüşümleri

ABD doları/TL	Euro/TL
5.6671	6.3682

Yapılan pazar araştırması sonucu Çizelge 3.3' de belirtilen maliyet tablosu oluşturulmuştur.

Çizelge 3.3 Maliyet tablosu

FV Modül Monokristal	2.899.937	\$
FV Modül Polikristal	2.599.792	\$
İnverter	932.400	\$
Geliştirme (Proje ve saha hazırlık)	186.000	\$
Personel Binası	20.610	\$
Personel Giderleri	63.100	\$ / yıllık
Kablolar DC- AC	650.000	\$
Konstrüksiyon	850.000	\$
Trafo, beton köşk vs.	410.000	\$
Bakım-Onarım-Temizleme-Sigorta	126.000	\$ / yıllık
İşçilik+Nakliye	660.000	\$
Diğer (Arazi düzenlemesi, merkezi izleme odası, mühendislik, scada sistemleri, koruma ekipmanları vs.)	930.000	\$

Çizelge 3.4 Arazi Fiyatları

	Sivas/Merkez	Divriği	Gürün	Yıldızeli	Zara
Arazi Bedelleri	1.421.362 \$	174.693 \$	1.778.688 \$	241.394 \$	2.540.982 \$

Ekonomik analiz için yapılan kabuller aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 3.5 Yapılan Kabuller

YEKDEM alış fiyatı (10 yıllık)	13.3 ABD doları cent / kWh
Alım garantisi sonunda satış fiyatı	% 40 düşüş öngörülmekte
Elektrik satış oranı	% 100
Kredi süresi	8 yıl
Kredi faiz oranı	% 8.5 / yıllık
Yıllık üretim azalması	% 0.7
KDV	% 0
Elektrik birim fiyat tarifesi	0.075139 TL / kWh

4. BULGULAR

Şekil 4.1 – Şekil 4.5 arasındaki şekillerde merkez ilçedeki monokristal paneller ile gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :	Sivas Ges-Mono											
Geographical Site	Sivas/merkez						Country	Turkey				
Situation	Latitude		39.8°N			Longitude		37.0°E				
Time defined as	Legal Time		Time zone UT+3			Altitude		1285 m				
Monthly albedo values	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.80
Meteo data:	Sivas/merkez Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic											
Simulation variant :	first sim.											
	Simulation date		23/05/19 12h41									
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation	Tilt		35°			Azimuth		0°				
Models used	Transposition		Perez			Diffuse		Perez, Meteonorm				
Horizon	Free Horizon											
Near Shadings	No Shadings											
PV Array Characteristics												
PV module	Si-mono		Model		TSM-290DD05A.08(II)							
<small>Original PVsyst database</small>	Manufacturer		Trina Solar									
Number of PV modules	In series		21 modules			In parallel		1642 strings				
Total number of PV modules	Nb. modules		34482			Unit Nom. Power		290 Wp				
Array global power	Nominal (STC)		10000 kWp			At operating cond.		9025 kWp (50°C)				
Array operating characteristics (50°C)	U mpp		608 V			I mpp		14850 A				
Total area	Module area		56440 m²			Cell area		50109 m ²				
Inverter												
<small>Original PVsyst database</small>	Model		Powador 72.0 TL3 Park XL									
Characteristics	Manufacturer		Kaco new energy									
Inverter pack	Operating Voltage		200-850 V			Unit Nom. Power		60 kWac				
	Nb. of inverters		444 * MPPT 33 %			Total Power		8880 kWac				
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor	Uc (const)		20.0 W/m ² K			Uv (wind)		0.0 W/m ² K / m/s				
Wiring Ohmic Loss	Global array res.		0.69 mOhm			Loss Fraction		1.5 % at STC				
Module Quality Loss						Loss Fraction		-0.4 %				
Module Mismatch Losses						Loss Fraction		1.0 % at MPP				
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =		1 - bo (1/cos i - 1)			bo Param.		0.05				
User's needs :	Unlimited load (grid)											

Şekil 4.1 Merkez sonuç ekranı (a)

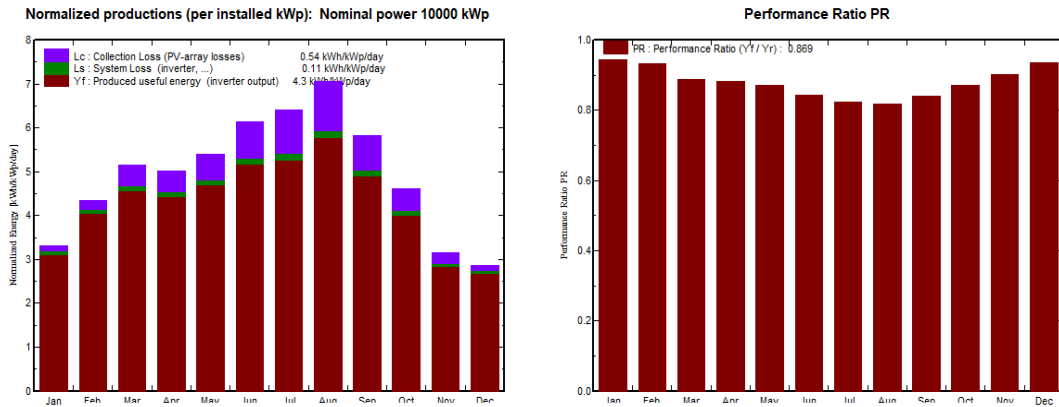
Grid-Connected System: Main results

Project : Sivas Ges-Mono

Simulation variant : first sim.

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation		tilt	35°	azimuth 0°
PV modules		Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom 290 Wp
PV Array		Nb. of modules	34482	Pnom total 10000 kWp
Inverter		Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

Main simulation results		Produced Energy	15678 MWh/year	Specific prod.	1568 kWh/kWp/year
System Production		Performance Ratio PR	86.9 %		
Investment		Global incl. taxes	8960309 US\$	Specific	0.90 US\$/Wp
Yearly cost		Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1588937 US\$/yr	Running Costs	375147 US\$/yr
Energy cost			0.13 US\$/kWh		



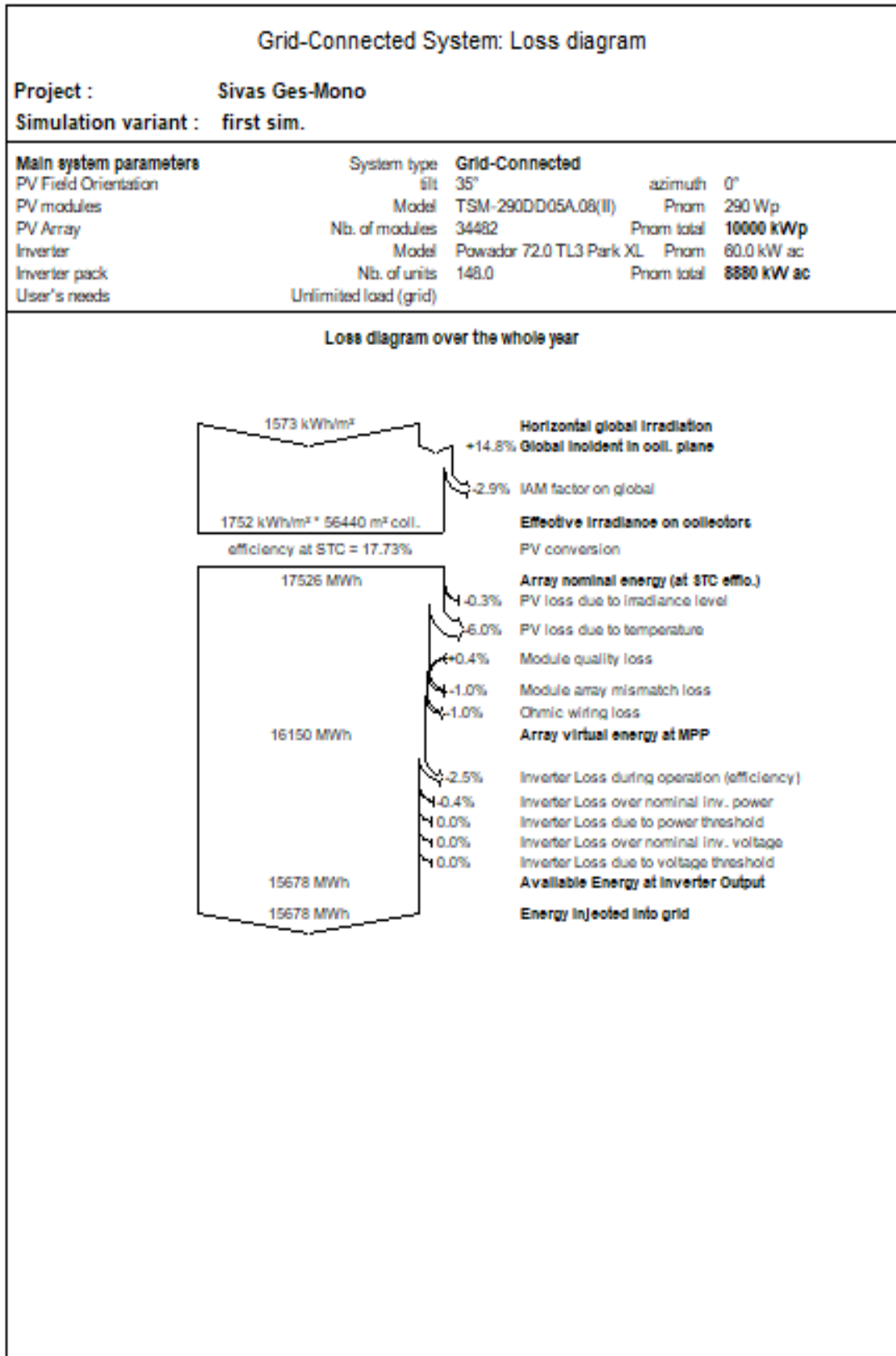
first sim.

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	61.2	-3.40	102.3	99.6	990	966	17.14	16.73
February	81.9	-2.07	121.5	118.3	1162	1134	16.95	16.54
March	125.5	4.46	159.8	155.5	1453	1417	16.11	15.71
April	141.9	9.45	150.8	146.1	1362	1328	16.01	15.61
May	174.8	14.00	167.1	161.2	1491	1454	15.81	15.42
June	200.4	17.71	184.2	178.0	1593	1551	15.32	14.92
July	212.1	21.65	198.6	192.2	1680	1635	14.99	14.59
August	210.6	22.08	219.0	212.7	1841	1791	14.89	14.49
September	148.6	17.02	174.9	170.3	1511	1471	15.31	14.91
October	103.9	12.08	143.1	139.5	1277	1245	15.82	15.41
November	61.3	4.87	94.5	91.9	875	854	16.40	16.00
December	50.5	-0.93	89.0	86.5	853	832	16.98	16.57
Year	1572.7	9.81	1804.8	1751.9	16088	15678	15.79	15.39

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Şekil 4.2 Merkez sonuç ekranı (b)



Şekil 4.3 Merkez sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :	Sivas Ges-Mono		
Simulation variant :	first sim.		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total 10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 290 Wp)	34482 units	84 US\$ / unit	2899937 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			1441972 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			8960309 US\$
Financing			
Gross investment (without taxes)			8960309 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		1612856 US\$
Gross investment (including VAT)			10573165 US\$
Subsidies			-1612856 US\$
Net investment (all taxes included)			8960309 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)		1588937 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			375147 US\$/year
Total yearly cost			1964084 US\$/year
Energy cost			
Produced Energy			15678 MWh / year
Cost of produced energy			0.13 US\$ / kWh

Şekil 4.4 Merkez sonuç ekranı (d)

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : Sivas Ges-Mono

Simulation variant : first sim.

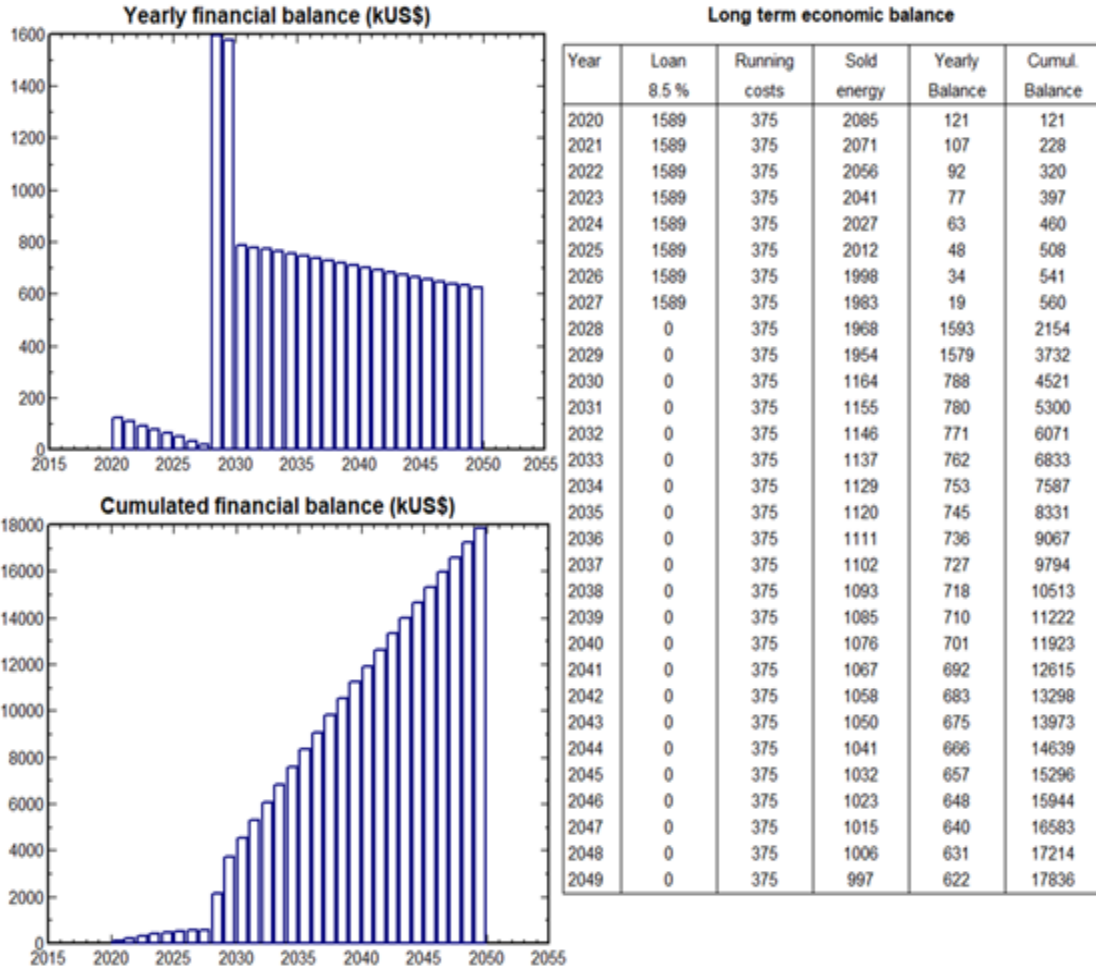
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total	10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Electricity sale

Feed-in Tariff **0.13 US\$/kWh** Warranty over **10 years**
 Annual connexion tax **0 US\$**

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation **0.0 % / year**
 Annual production reduction **-0.7 % / year**
 Feed-in tariff Warranty over **10 years**
 Tariff reduction after contractual warranty **-40 %**
 Loan duration (payment of annuities) **8 years**



Şekil 4.5 Merkez sonuç ekranı (e)

Şekil 4.6 – Şekil 4.10 arasındaki şekillerde merkez ilçe için polikristal panellerle gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :		Sivas Ges-Poli										
Geographical Site		Sivas/merkez						Country Turkey				
Situation		Latitude 39.8°N			Longitude 37.0°E							
Time defined as		Legal Time			Time zone UT+3					Altitude 1285 m		
Monthly albedo values												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82
Meteo data:		Sivas/merkez Meteornorm 7.1 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic										
Simulation variant :		second sim.										
		Simulation date 23/05/19 13h30										
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation		Tilt 35°			Azimuth 0°							
Models used		Transposition Perez			Diffuse Perez, Meteornorm							
Horizon		Free Horizon										
Near Shadings		No Shadings										
PV Array Characteristics												
PV module		Si-poly		Model CS6X - 290P								
Original PVsyst database		Manufacturer		Canadian Solar Inc.								
Number of PV modules		In series 20 modules			In parallel 1724 strings							
Total number of PV modules		Nb. modules 34480			Unit Nom. Power 290 Wp							
Array global power		Nominal (STC) 9999 kWp			At operating cond. 8923 kWp (50°C)							
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 633 V			I mpp 14088 A							
Total area		Module area 66161 m²			Cell area 60426 m ²							
Inverter		Model Powador 72.0 TL3 Park XL										
Original PVsyst database		Manufacturer		Kaco new energy								
Characteristics		Operating Voltage 200-850 V			Unit Nom. Power 60 kWac							
Inverter pack		Nb. of inverters 444 * MPPT 33 %			Total Power 8880 kWac							
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor		Uc (const) 20.0 W/m ² K			Uv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s							
Wiring Ohmic Loss		Global array res. 0.76 mOhm			Loss Fraction 1.5 % at STC							
Module Quality Loss					Loss Fraction -0.4 %							
Module Mismatch Losses					Loss Fraction 1.0 % at MPP							
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)			bo Param. 0.05							
User's needs :		Unlimited load (grid)										

Şekil 4.6 Merkez sonuç ekranı (a)

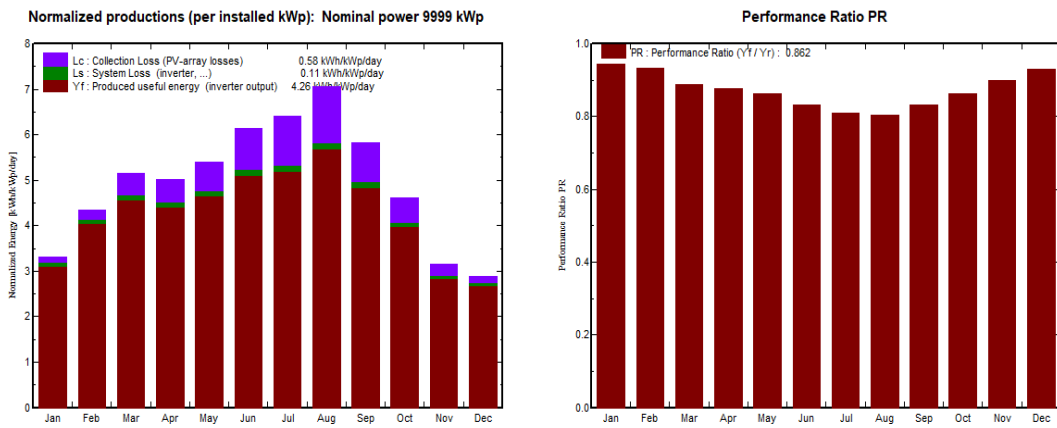
Grid-Connected System: Main results

Project : Sivas Ges-Poli

Simulation variant : second sim.

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total	9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results				
System Production	Produced Energy	15549 MWh/year	Specific prod.	1555 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	86.2 %		
Investment	Global incl. taxes	8660164 US\$	Specific	0.87 US\$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1535712 US\$/yr	Running Costs	373610 US\$/yr
Energy cost		0.12 US\$/kWh		



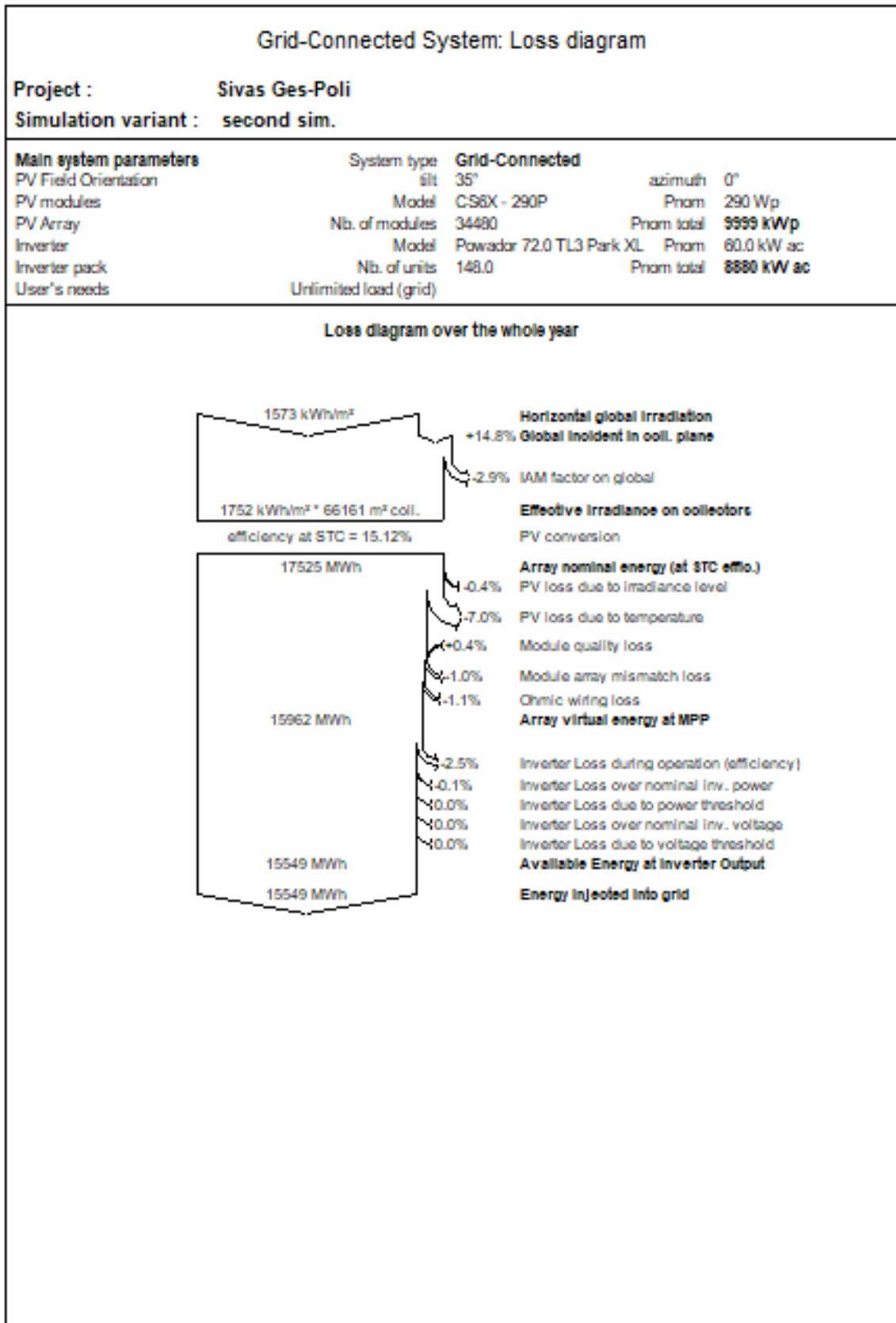
second sim.

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	61.2	-3.40	102.3	99.6	989	966	14.61	14.26
February	81.9	-2.07	121.5	118.3	1162	1134	14.46	14.11
March	125.5	4.46	159.8	155.5	1453	1417	13.74	13.41
April	141.9	9.45	150.8	146.1	1355	1322	13.58	13.25
May	174.8	14.00	167.1	161.2	1478	1443	13.37	13.05
June	200.4	17.71	184.2	178.0	1571	1531	12.89	12.56
July	212.1	21.65	198.6	192.2	1652	1609	12.57	12.25
August	210.6	22.08	219.0	212.7	1808	1761	12.48	12.15
September	148.6	17.02	174.9	170.3	1492	1453	12.89	12.56
October	103.9	12.08	143.1	139.5	1265	1234	13.37	13.03
November	61.3	4.87	94.5	91.9	872	851	13.94	13.60
December	50.5	-0.93	89.1	86.6	849	829	14.41	14.06
Year	1572.7	9.81	1804.9	1752.0	15947	15549	13.35	13.02

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Şekil 4.7 Merkez sonuç ekranı (b)



Şekil 4.8 Merkez sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :	Sivas Ges-Poli		
Simulation variant :	second sim.		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total 9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 290 Wp)	34480 units	75 US\$ / unit	2599792 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			1441972 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			8660164 US\$
Financing			
Gross investment (without taxes)			8660164 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		1558830 US\$
Gross investment (including VAT)			10218994 US\$
Subsidies			-1558830 US\$
Net investment (all taxes included)			8660164 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)		1535712 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			373610 US\$/year
Total yearly cost			1909322 US\$/year
Energy cost			
Produced Energy			15549 MWh / year
Cost of produced energy			0.12 US\$ / kWh

Şekil 4.9 Merkez sonuç ekranı (d)

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : Sivas Ges-Poli

Simulation variant : second sim.

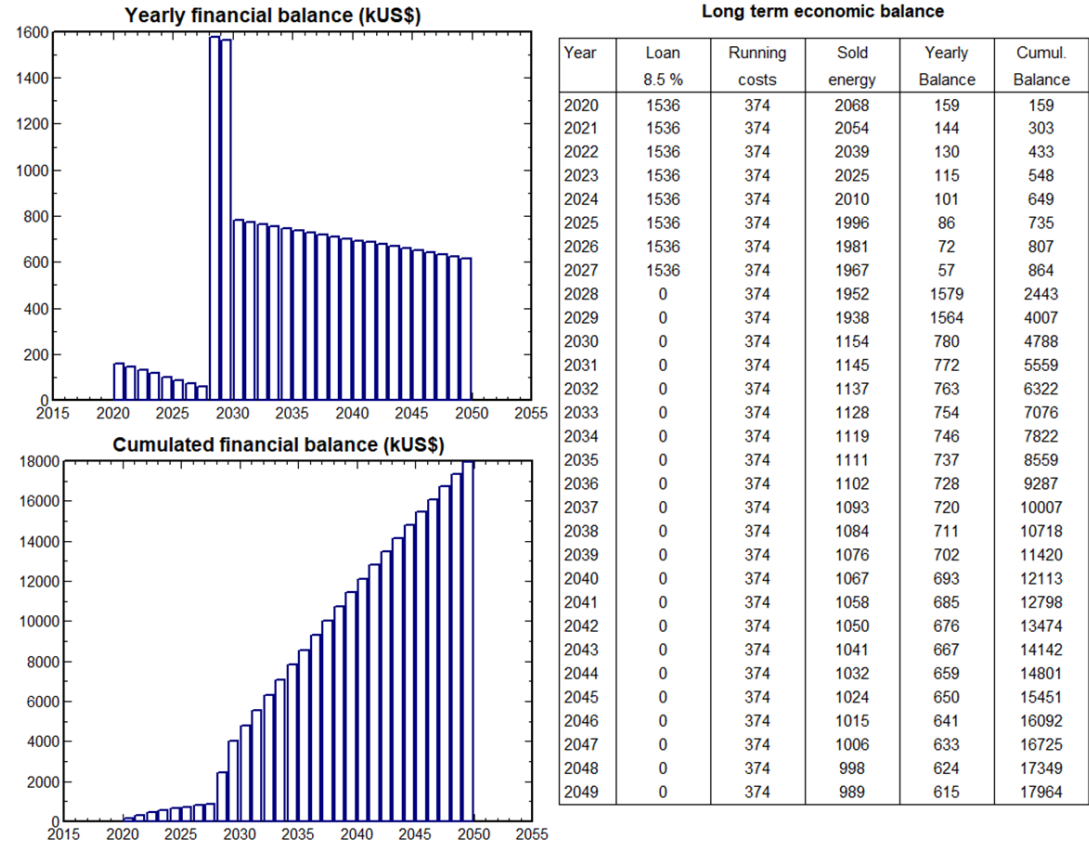
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total	9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Electricity sale

Feed-in Tariff **0.13 US\$/kWh** Warranty over **10 years**
 Annual connexion tax **0 US\$**

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation **0.0 % / year**
 Annual production reduction **-0.7 % / year**
 Feed-in tariff Warranty over **10 years**
 Tariff reduction after contractual warranty **-40 %**
 Loan duration (payment of annuities) **8 years**



Şekil 4.10 Merkez sonuç ekranı (e)

Şekil 4.11 – Şekil 4.15 arasındaki şekillerde Gürün ilçesi için monokristal panellerle yapılan çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :	Gürün Mono											
Geographical Site	Gürün						Country Turkey					
Situation	Latitude 38.7°N			Longitude 37.3°E								
Time defined as	Legal Time			Time zone UT+3			Altitude 1330 m					
Monthly albedo values												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82
Meteo data:	Gürün Meteororm 7.1 (2006-2013), Sat=100% - Synthetic											
Simulation variant :	first sim.											
	Simulation date 24/05/19 01h03											
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation	Tilt 35°			Azimuth 0°								
Models used	Transposition Perez			Diffuse Perez, Meteororm								
Horizon	Free Horizon											
Near Shadings	No Shadings											
PV Array Characteristics												
PV module	Si-mono	Model	TSM-290DD05A.08(II)									
<small>Original PVsyst database</small>		Manufacturer	Trina Solar									
Number of PV modules		In series	21 modules	In parallel		1642 strings						
Total number of PV modules		Nb. modules	34482	Unit Nom. Power		290 Wp						
Array global power		Nominal (STC)	10000 kWp	At operating cond.		9025 kWp (50°C)						
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	608 V	I mpp		14850 A						
Total area		Module area	56440 m²	Cell area		50109 m ²						
Inverter												
<small>Original PVsyst database</small>		Model	Powador 72.0 TL3 Park XL									
		Manufacturer	Kaco new energy									
Characteristics		Operating Voltage	200-850 V	Unit Nom. Power		60 kWac						
Inverter pack		Nb. of inverters	444 * MPPT 33 %	Total Power		8880 kWac						
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (wind)		0.0 W/m ² K / m/s						
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	0.69 mOhm	Loss Fraction		1.5 % at STC						
Module Quality Loss				Loss Fraction		-0.4 %						
Module Mismatch Losses				Loss Fraction		1.0 % at MPP						
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.		0.05						
User's needs :	Unlimited load (grid)											

Şekil 4.11 Gürün sonuç ekranı (a)

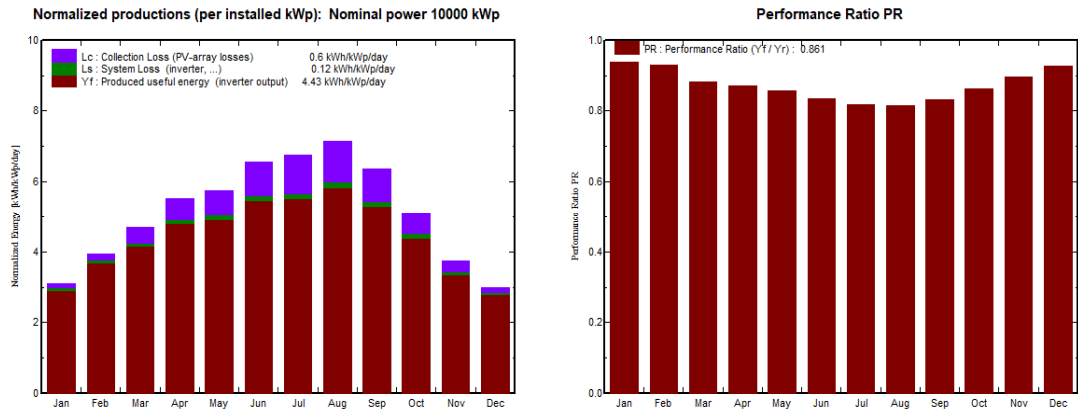
Grid-Connected System: Main results

Project : Gürün Mono

Simulation variant : first sim.

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation		tilt	35°	azimuth 0°
PV modules		Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom 290 Wp
PV Array		Nb. of modules	34482	Pnom total 10000 kWp
Inverter		Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

Main simulation results		Produced Energy	16167 MWh/year	Specific prod.	1617 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR		86.1 %		
Investment	Global incl. taxes	9317635 US\$		Specific	0.93 US\$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1652302 US\$/yr		Running Costs	380955 US\$/yr
Energy cost					0.13 US\$/kWh



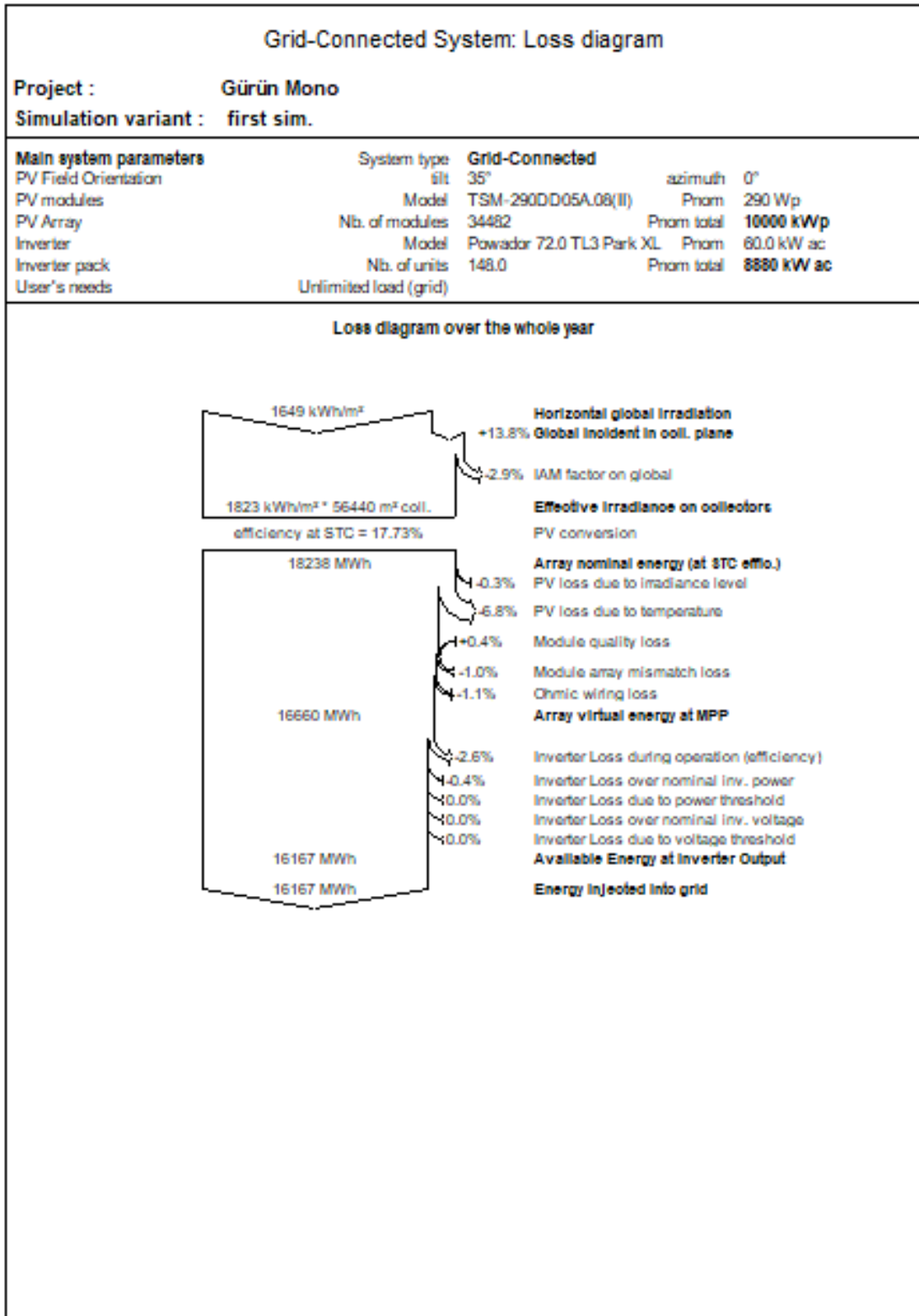
first sim.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	57.6	-2.84	96.4	93.8	927	905	17.05	16.63
February	76.9	-1.29	110.8	107.8	1055	1030	16.88	16.47
March	119.4	5.04	146.2	142.0	1321	1289	16.02	15.62
April	153.9	9.92	165.0	160.2	1478	1440	15.86	15.46
May	188.5	14.47	178.2	172.1	1566	1526	15.57	15.18
June	216.0	18.66	196.2	189.7	1683	1638	15.20	14.80
July	224.6	22.57	208.9	202.1	1754	1707	14.88	14.48
August	215.5	22.69	221.4	215.0	1858	1808	14.87	14.47
September	159.9	17.36	191.1	186.3	1632	1589	15.13	14.73
October	113.9	12.24	158.1	154.3	1401	1365	15.70	15.30
November	69.9	5.11	112.3	109.4	1034	1008	16.31	15.91
December	53.4	-0.48	93.0	90.4	884	862	16.84	16.43
Year	1649.4	10.36	1877.5	1823.0	16594	16167	15.66	15.26

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Şekil 4.12 Gürün sonuç ekranı (b)



Şekil 4.13 Gürün sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation

Project : **Gürün Mono**

Simulation variant : **first sim.**

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total	10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Investment

PV modules (Pnom = 290 Wp)	34482 units	84 US\$ / unit	2899937 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			1799298 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			9317635 US\$

Financing

Gross investment (without taxes)		9317635 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %	1677174 US\$
Gross investment (including VAT)		10994809 US\$
Subsidies		-1677174 US\$
Net investment (all taxes included)		9317635 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)	1652302 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...		380955 US\$/year
Total yearly cost		2033257 US\$/year

Energy cost

Produced Energy	16167 MWh / year
Cost of produced energy	0.13 US\$ / kWh

Şekil 4.14 Gürün sonuç ekranı (d)

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : **Gürün Mono**

Simulation variant : **first sim.**

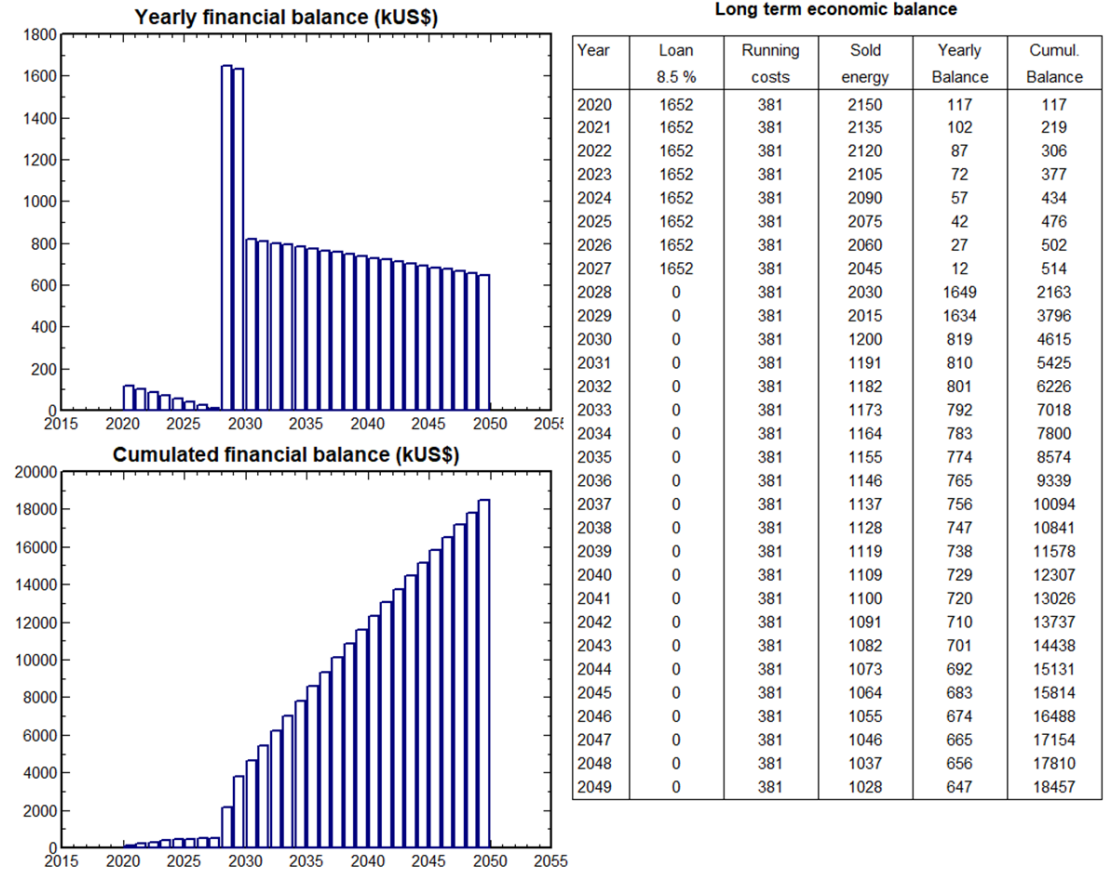
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total	10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Electricity sale

Feed-in Tariff **0.13 US\$/kWh** Warranty over **10 years**
 Annual connexion tax **0 US\$**

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation **0.0 % / year**
 Annual production reduction **-0.7 % / year**
 Feed-in tariff Warranty over **10 years**
 Tariff reduction after contractual warranty **-40 %**
 Loan duration (payment of annuities) **8 years**



Şekil 4.15 Gürün sonuç ekranı (e)

Şekil 4.16 – Şekil 4.20 arasındaki şekillerde Gürün ilçesi için polikristal panellerle yapılan çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :	Gürün Poli											
Geographical Site	Gürün						Country Turkey					
Situation	Latitude			38.7°N			Longitude			37.3°E		
Time defined as	Legal Time			Time zone UT+3			Altitude			1330 m		
Monthly albedo values												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82
Meteo data:	Gürün Meteonorm 7.1 (2006-2013), Sat=100% - Synthetic											
Simulation variant :	second sim.											
	Simulation date						24/05/19 01h35					
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation	Tilt			35°			Azimuth			0°		
Models used	Transposition			Perez			Diffuse			Perez, Meteonorm		
Horizon	Free Horizon											
Near Shadings	No Shadings											
PV Array Characteristics												
PV module	Si-poly		Model		CS6X - 290P							
<small>Original PVsyst database</small>			Manufacturer		Canadian Solar Inc.							
Number of PV modules			In series		20 modules		In parallel		1724 strings			
Total number of PV modules			Nb. modules		34480		Unit Nom. Power		290 Wp			
Array global power			Nominal (STC)		9999 kWp		At operating cond.		8923 kWp (50°C)			
Array operating characteristics (50°C)			U mpp		633 V		I mpp		14088 A			
Total area			Module area		66161 m²		Cell area		60426 m²			
Inverter												
<small>Original PVsyst database</small>			Model		Powador 72.0 TL3 Park XL							
Characteristics			Manufacturer		Kaco new energy							
			Operating Voltage		200-850 V		Unit Nom. Power		60 kWac			
Inverter pack			Nb. of inverters		444 * MPPT 33 %		Total Power		8880 kWac			
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor			Uc (const)		20.0 W/m²K		Uv (wind)		0.0 W/m²K / m/s			
Wiring Ohmic Loss			Global array res.		0.76 mOhm		Loss Fraction		1.5 % at STC			
Module Quality Loss							Loss Fraction		-0.4 %			
Module Mismatch Losses							Loss Fraction		1.0 % at MPP			
Incidence effect, ASHRAE parametrization			IAM =		1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param.		0.05			
User's needs :	Unlimited load (grid)											

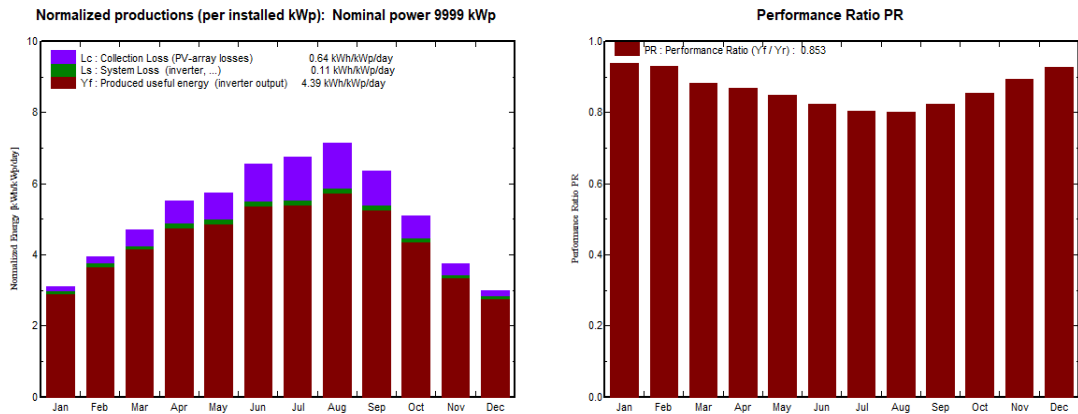
Şekil 4.16 Gürün sonuç ekranı (a)

Grid-Connected System: Main results

Project : **Gürün Poli**
Simulation variant : **second sim.**

Main system parameters	System type	Grid-Connected
PV Field Orientation	tilt	35°
PV modules	Model	CS6X - 290P
PV Array	Nb. of modules	34480
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL
Inverter pack	Nb. of units	148.0
User's needs	Unlimited load (grid)	
	azimuth	0°
	Pnom	290 Wp
	Pnom total	9999 kWp
	Pnom total	60.0 kW ac
	Pnom total	8880 kW ac

Main simulation results	Produced Energy	16023 MWh/year
System Production	Performance Ratio PR	85.3 %
	Specific prod.	1602 kWh/kWp/year
Investment	Global incl. taxes	9017490 US\$
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1599077 US\$/yr
Energy cost	Specific Running Costs	0.90 US\$/Wp 379245 US\$/yr
		0.12 US\$/kWh



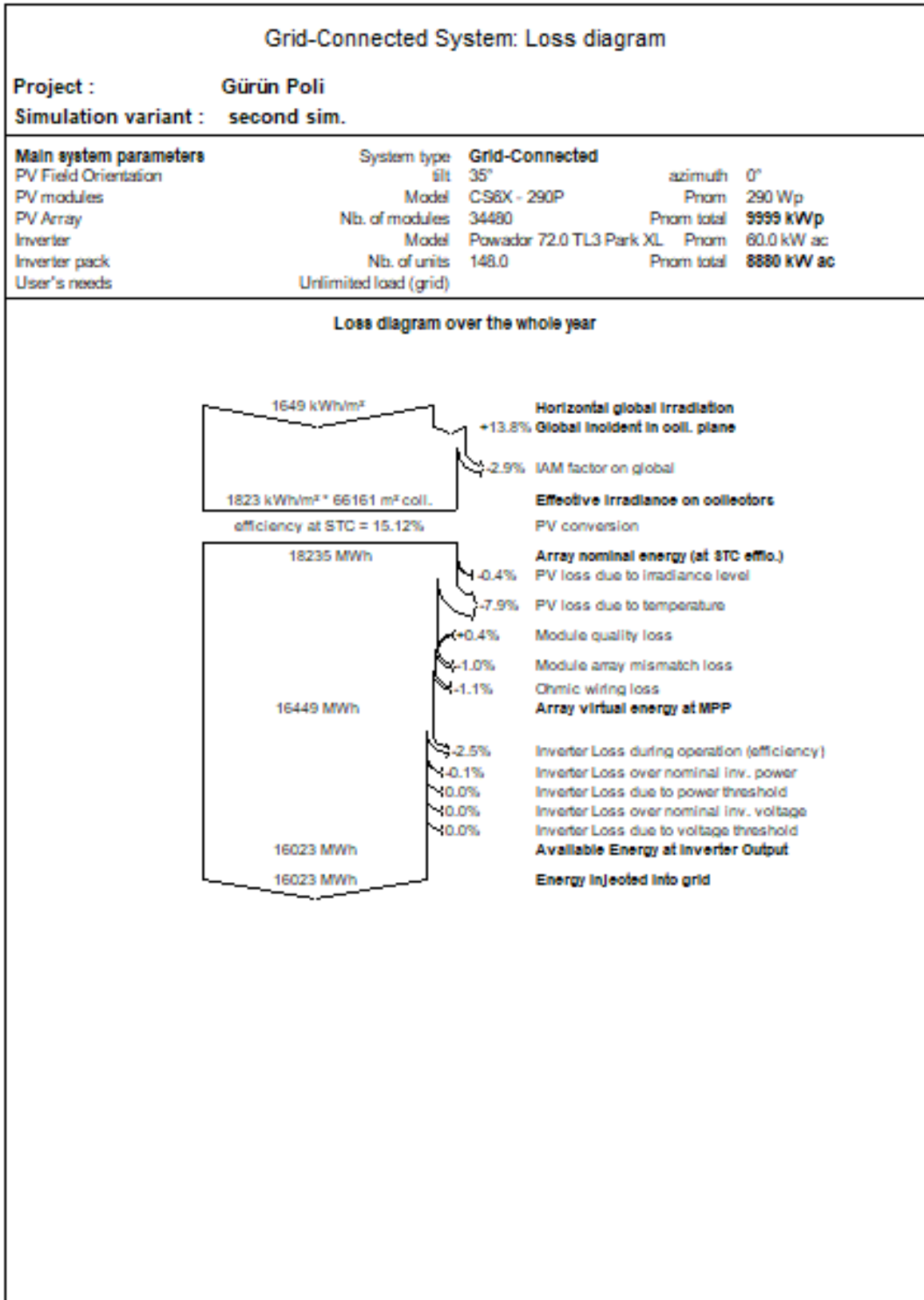
second sim.

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	57.6	-2.84	96.4	93.8	926	903	14.52	14.17
February	76.9	-1.29	110.8	107.8	1054	1029	14.38	14.04
March	119.4	5.04	146.2	142.0	1321	1289	13.66	13.33
April	153.9	9.92	165.0	160.2	1468	1431	13.44	13.10
May	188.5	14.47	178.2	172.1	1551	1513	13.15	12.83
June	216.0	18.66	196.2	189.7	1657	1615	12.77	12.44
July	224.6	22.57	208.9	202.1	1722	1677	12.46	12.13
August	215.5	22.69	221.4	215.0	1824	1776	12.45	12.12
September	159.9	17.36	191.1	186.3	1616	1574	12.79	12.45
October	113.9	12.24	158.1	154.3	1387	1353	13.27	12.93
November	69.9	5.11	112.3	109.4	1028	1003	13.84	13.50
December	53.4	-0.48	93.0	90.4	882	861	14.34	14.00
Year	1649.4	10.36	1877.5	1823.0	16436	16023	13.23	12.90

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Şekil 4.17 Gürün sonuç ekranı (b)



Şekil 4.18 Gürün sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :	Gürün Poli		
Simulation variant :	second sim.		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total 9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 290 Wp)	34480 units	75 US\$ / unit	2599792 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			1799298 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			9017490 US\$
Financing			
Gross investment (without taxes)			9017490 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		1623148 US\$
Gross investment (including VAT)			10640638 US\$
Subsidies			-1623148 US\$
Net investment (all taxes included)			9017490 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)		1599077 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			379245 US\$/year
Total yearly cost			1978322 US\$/year
Energy cost			
Produced Energy			16023 MWh / year
Cost of produced energy			0.12 US\$ / kWh

Şekil 4.19 Gürün sonuç ekranı (d)

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : **Gürün Poli**
Simulation variant : **second sim.**

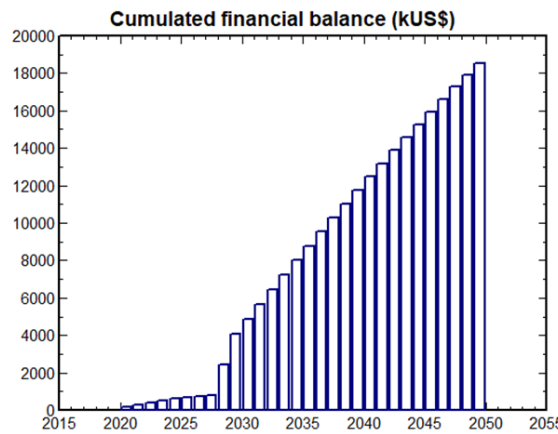
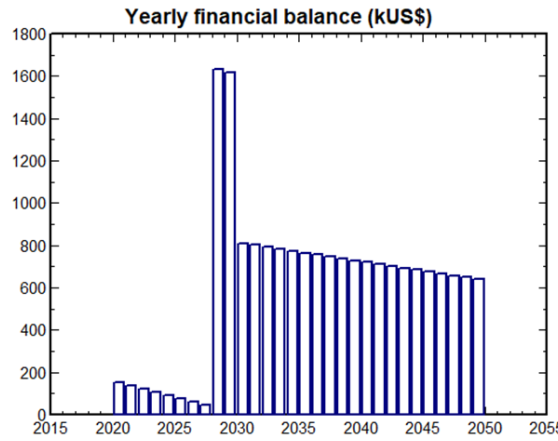
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total	9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Electricity sale

Feed-in Tariff **0.13 US\$/kWh** Warranty over **10 years**
 Annual connexion tax **0 US\$**

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation **0.0 % / year**
 Annual production reduction **-0.7 % / year**
 Feed-in tariff Warranty over **10 years**
 Tariff reduction after contractual warranty **-40 %**
 Loan duration (payment of annuities) **8 years**



Long term economic balance

Year	Loan 8.5 %	Running costs	Sold energy	Yearly Balance	Cumul. Balance
2020	1599	379	2131	153	153
2021	1599	379	2116	138	290
2022	1599	379	2101	123	413
2023	1599	379	2086	108	521
2024	1599	379	2071	93	614
2025	1599	379	2056	78	692
2026	1599	379	2041	63	755
2027	1599	379	2027	48	804
2028	0	379	2012	1632	2436
2029	0	379	1997	1617	4054
2030	0	379	1189	810	4863
2031	0	379	1180	801	5664
2032	0	379	1171	792	6456
2033	0	379	1162	783	7239
2034	0	379	1153	774	8013
2035	0	379	1144	765	8778
2036	0	379	1135	756	9535
2037	0	379	1126	747	10282
2038	0	379	1117	738	11020
2039	0	379	1109	729	11749
2040	0	379	1100	720	12470
2041	0	379	1091	711	13181
2042	0	379	1082	702	13884
2043	0	379	1073	693	14577
2044	0	379	1064	685	15262
2045	0	379	1055	676	15937
2046	0	379	1046	667	16604
2047	0	379	1037	658	17262
2048	0	379	1028	649	17910
2049	0	379	1019	640	18550

Şekil 4.20 Gürün sonuç ekranı (e)

Şekil 4.21 – Şekil 4.25 arasındaki şekillerde Divriği ilçesi için monokristal panellerle yapılan çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :		Divriği Mono										
Geographical Site		Divriği					Country		Turkey			
Situation		Latitude		39.4°N		Longitude		38.1°E				
Time defined as		Legal Time		Time zone UT+3		Altitude		1050 m				
Monthly albedo values												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82
Meteo data:		Divriği Meteororm 7.1 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic										
Simulation variant :		first sim.										
		Simulation date 23/05/19 16h56										
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation		Tilt		35°		Azimuth		0°				
Models used		Transposition		Perez		Diffuse		Perez, Meteororm				
Horizon		Free Horizon										
Near Shadings		No Shadings										
PV Array Characteristics												
PV module		Si-mono		Model		TSM-290DD05A.08(II)						
Original PVsyst database		Manufacturer		Trina Solar								
Number of PV modules		In series		21 modules		In parallel		1642 strings				
Total number of PV modules		Nb. modules		34482		Unit Nom. Power		290 Wp				
Array global power		Nominal (STC)		10000 kWp		At operating cond.		9025 kWp (50°C)				
Array operating characteristics (50°C)		U mpp		608 V		I mpp		14850 A				
Total area		Module area		56440 m²		Cell area		50109 m ²				
Inverter		Model		Powador 72.0 TL3 Park XL								
Original PVsyst database		Manufacturer		Kaco new energy								
Characteristics		Operating Voltage		200-850 V		Unit Nom. Power		60 kWac				
Inverter pack		Nb. of inverters		444 * MPPT 33 %		Total Power		8880 kWac				
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor		Uc (const)		20.0 W/m ² K		Uv (wind)		0.0 W/m ² K / m/s				
Wiring Ohmic Loss		Global array res.		0.69 mOhm		Loss Fraction		1.5 % at STC				
Module Quality Loss						Loss Fraction		-0.4 %				
Module Mismatch Losses						Loss Fraction		1.0 % at MPP				
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =		1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param.		0.05				
User's needs :		Unlimited load (grid)										

Şekil 4.21 Divriği sonuç ekranı (a)

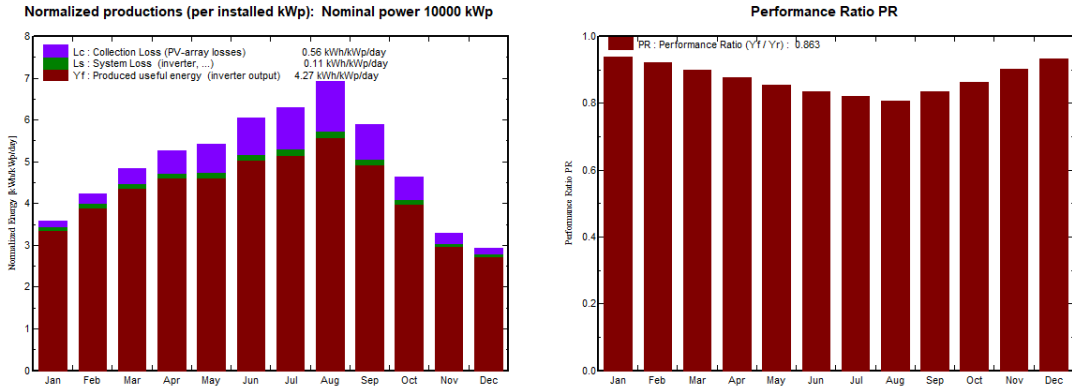
Grid-Connected System: Main results

Project : Divriği Mono

Simulation variant : first sim.

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total 10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results	Produced Energy	15593 MWh/year	Specific prod.	1559 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	86.3 %		
Investment	Global incl. taxes	7713640 US\$	Specific	0.77 US\$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1367865 US\$/yr	Running Costs	374140 US\$/yr
Energy cost		0.11 US\$/kWh		



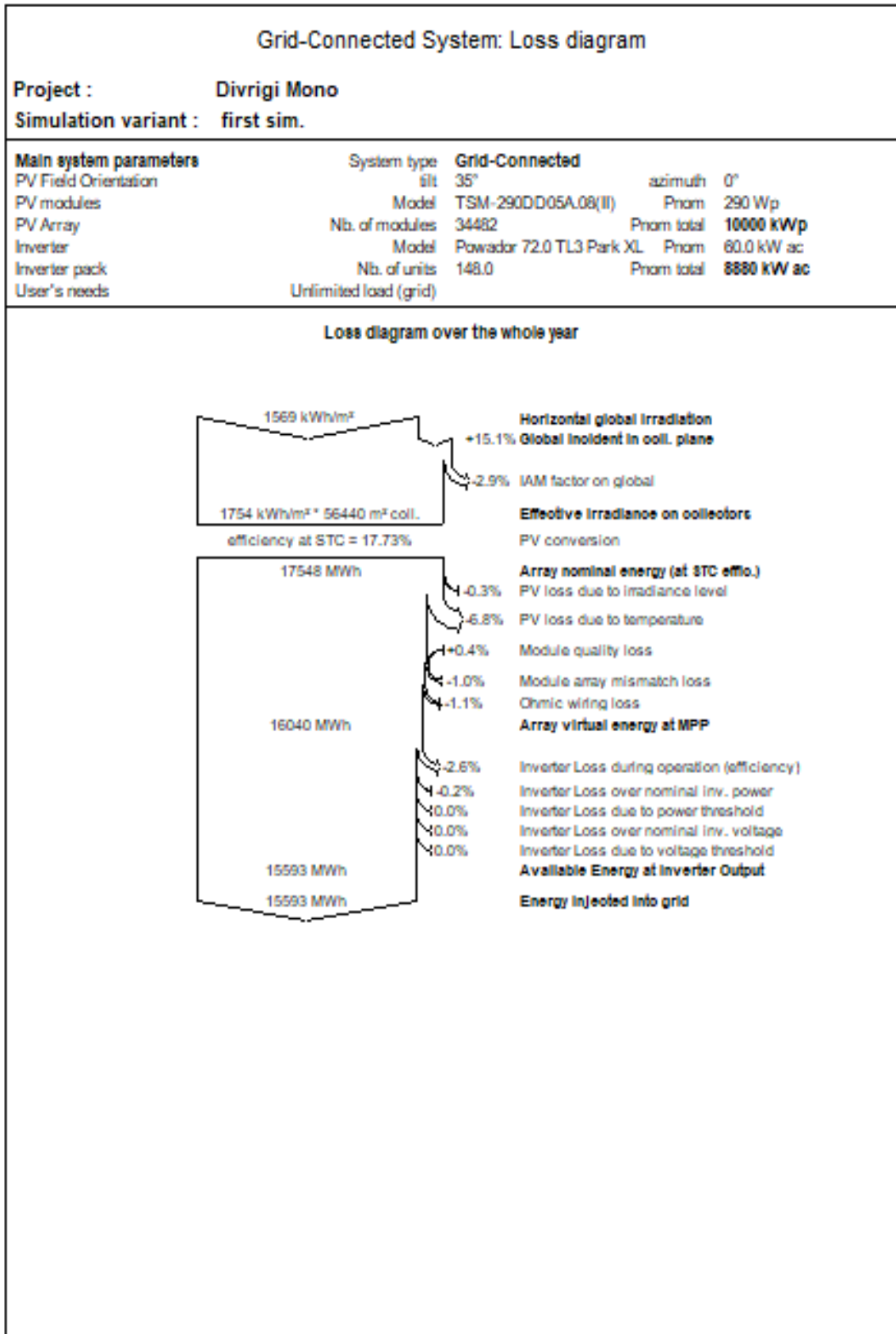
first sim.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	63.0	-2.71	110.9	108.1	1067	1041	17.04	16.63
February	79.5	-0.82	118.8	115.7	1121	1094	16.73	16.31
March	119.6	5.56	150.3	146.0	1386	1352	16.34	15.94
April	149.1	10.71	157.8	153.0	1418	1383	15.92	15.52
May	176.1	15.49	167.8	162.2	1469	1431	15.52	15.12
June	198.4	20.05	181.5	175.4	1554	1513	15.17	14.77
July	209.1	24.28	195.0	188.5	1643	1599	14.92	14.53
August	206.7	24.29	214.5	208.5	1780	1732	14.71	14.30
September	149.7	18.75	177.1	172.5	1517	1477	15.18	14.78
October	104.9	13.04	143.5	140.0	1270	1238	15.68	15.28
November	62.5	5.60	98.7	96.1	913	890	16.38	15.98
December	50.3	-0.17	90.5	88.2	865	843	16.93	16.50
Year	1568.8	11.24	1806.4	1754.1	16005	15593	15.70	15.29

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Şekil 4.22 Divriği sonuç ekranı (b)



Şekil 4.23 Divriği sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :	Divriği Mono		
Simulation variant :	first sim.		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total 10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 290 Wp)	34482 units	84 US\$ / unit	2899937 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			195303 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			7713640 US\$
Financing			
Gross investment (without taxes)			7713640 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		1388455 US\$
Gross investment (including VAT)			9102095 US\$
Subsidies			-1388455 US\$
Net investment (all taxes included)			7713640 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)		1367865 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			374140 US\$/year
Total yearly cost			1742005 US\$/year
Energy cost			
Produced Energy			15593 MWh / year
Cost of produced energy			0.11 US\$ / kWh

Şekil 4.24 Divriği sonuç ekranı (d)

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : Divriği Mono

Simulation variant : first sim.

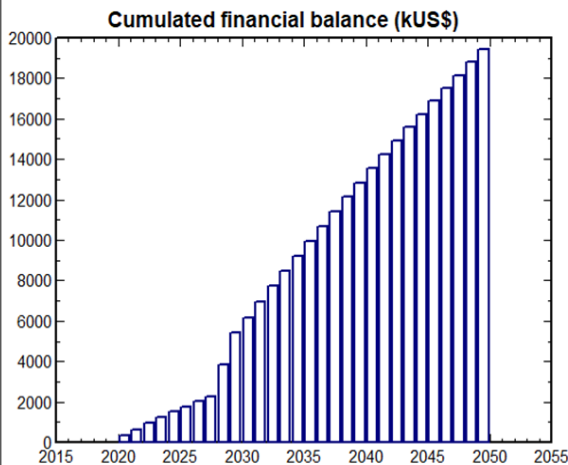
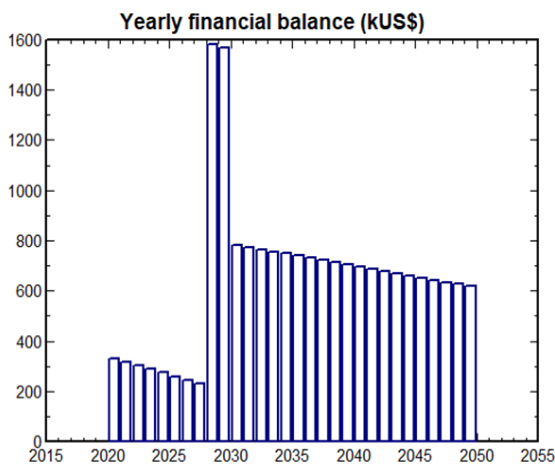
Main system parameters		System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation		tilt	35°	azimuth	0°
PV modules		Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom	290 Wp
PV Array		Nb. of modules	34482	Pnom total	10000 kWp
Inverter		Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)			

Electricity sale

Feed-in Tariff **0.13 US\$/kWh** Warranty over **10 years**
 Annual connexion tax **0 US\$**

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation **0.0 % / year**
 Annual production reduction **-0.7 % / year**
 Feed-in tariff Warranty over **10 years**
 Tariff reduction after contractual warranty **-40 %**
 Loan duration (payment of annuities) **8 years**



Long term economic balance

Year	Loan 8.5 %	Running costs	Sold energy	Yearly Balance	Cumul. Balance
2020	1368	374	2074	332	332
2021	1368	374	2059	317	649
2022	1368	374	2045	303	952
2023	1368	374	2030	288	1240
2024	1368	374	2016	274	1514
2025	1368	374	2001	259	1773
2026	1368	374	1987	245	2018
2027	1368	374	1972	230	2248
2028	0	374	1958	1584	3832
2029	0	374	1943	1569	5401
2030	0	374	1157	783	6184
2031	0	374	1148	774	6958
2032	0	374	1140	766	7724
2033	0	374	1131	757	8481
2034	0	374	1122	748	9229
2035	0	374	1114	740	9968
2036	0	374	1105	731	10699
2037	0	374	1096	722	11421
2038	0	374	1088	713	12135
2039	0	374	1079	705	12839
2040	0	374	1070	696	13535
2041	0	374	1061	687	14223
2042	0	374	1053	679	14901
2043	0	374	1044	670	15571
2044	0	374	1035	661	16232
2045	0	374	1027	652	16885
2046	0	374	1018	644	17528
2047	0	374	1009	635	18163
2048	0	374	1000	626	18790
2049	0	374	992	618	19407

Şekil 4.25 Divriği sonuç ekranı (e)

Şekil 4.26 – Şekil 4.30 arasındaki şekillerde Divriği ilçesi için polikristal panellerle yapılan çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :	Divriği Poli											
Geographical Site	Divriği						Country Turkey					
Situation	Latitude 39.4°N			Longitude 38.1°E								
Time defined as	Legal Time			Time zone UT+3						Altitude 1050 m		
Monthly albedo values												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82
Meteo data:	Divriği Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic											
Simulation variant :	second sim.											
	Simulation date 23/05/19 17h25											
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation	Tilt 35°			Azimuth 0°								
Models used	Transposition Perez			Diffuse Perez, Meteonorm								
Horizon	Free Horizon											
Near Shadings	No Shadings											
PV Array Characteristics												
PV module	Si-poly	Model	CS6X - 290P									
<small>Original PVsyst database</small>	Manufacturer	Canadian Solar Inc.										
Number of PV modules	In series	20 modules	In parallel	1724 strings								
Total number of PV modules	Nb. modules	34480	Unit Nom. Power	290 Wp								
Array global power	Nominal (STC)	9999 kWp	At operating cond.	8923 kWp (50°C)								
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	633 V	I mpp	14088 A								
Total area	Module area	66161 m²	Cell area	60426 m ²								
Inverter												
<small>Original PVsyst database</small>	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL										
Characteristics	Manufacturer	Kaco new energy										
Inverter pack	Operating Voltage	200-850 V	Unit Nom. Power	60 kWac								
	Nb. of inverters	444 * MPPT 33 %	Total Power	8880 kWac								
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s								
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	0.76 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC								
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.4 %								
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP								
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05								
User's needs :	Unlimited load (grid)											

Şekil 4.26 Divriği sonuç ekranı (a)

Grid-Connected System: Main results

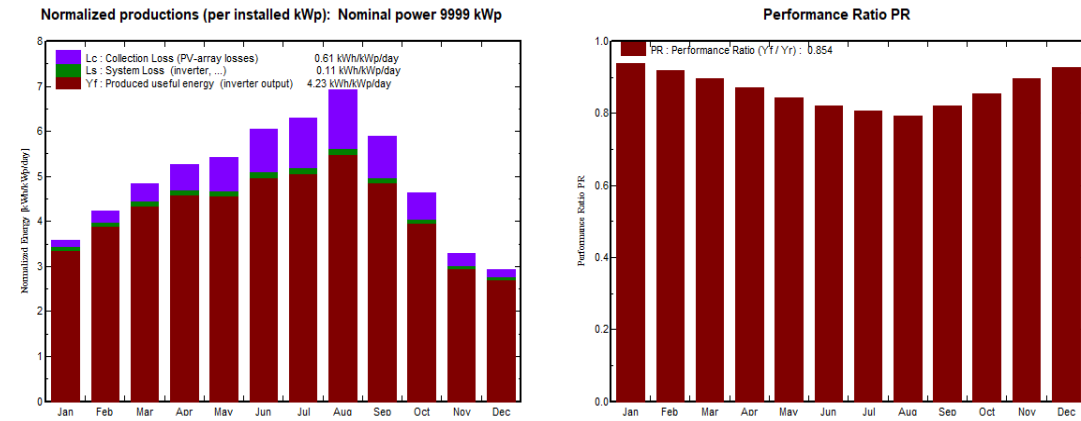
Project : Divriği Poli

Simulation variant : second sim.

Main system parameters	System type	Grid-Connected
PV Field Orientation	tilt	35°
PV modules	Model	CS6X - 290P
PV Array	Nb. of modules	34480
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL
Inverter pack	Nb. of units	148.0
User's needs	Unlimited load (grid)	
	azimuth	0°
	Pnom	290 Wp
	Pnom total	9999 kWp
	Pnom total	60.0 kW ac
	Pnom total	8880 kW ac

Main simulation results

System Production	Produced Energy	15434 MWh/year	Specific prod.	1543 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	85.4 %		
Investment	Global incl. taxes	7413495 US\$	Specific	0.74 US\$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1314640 US\$/yr	Running Costs	372244 US\$/yr
Energy cost		0.11 US\$/kWh		



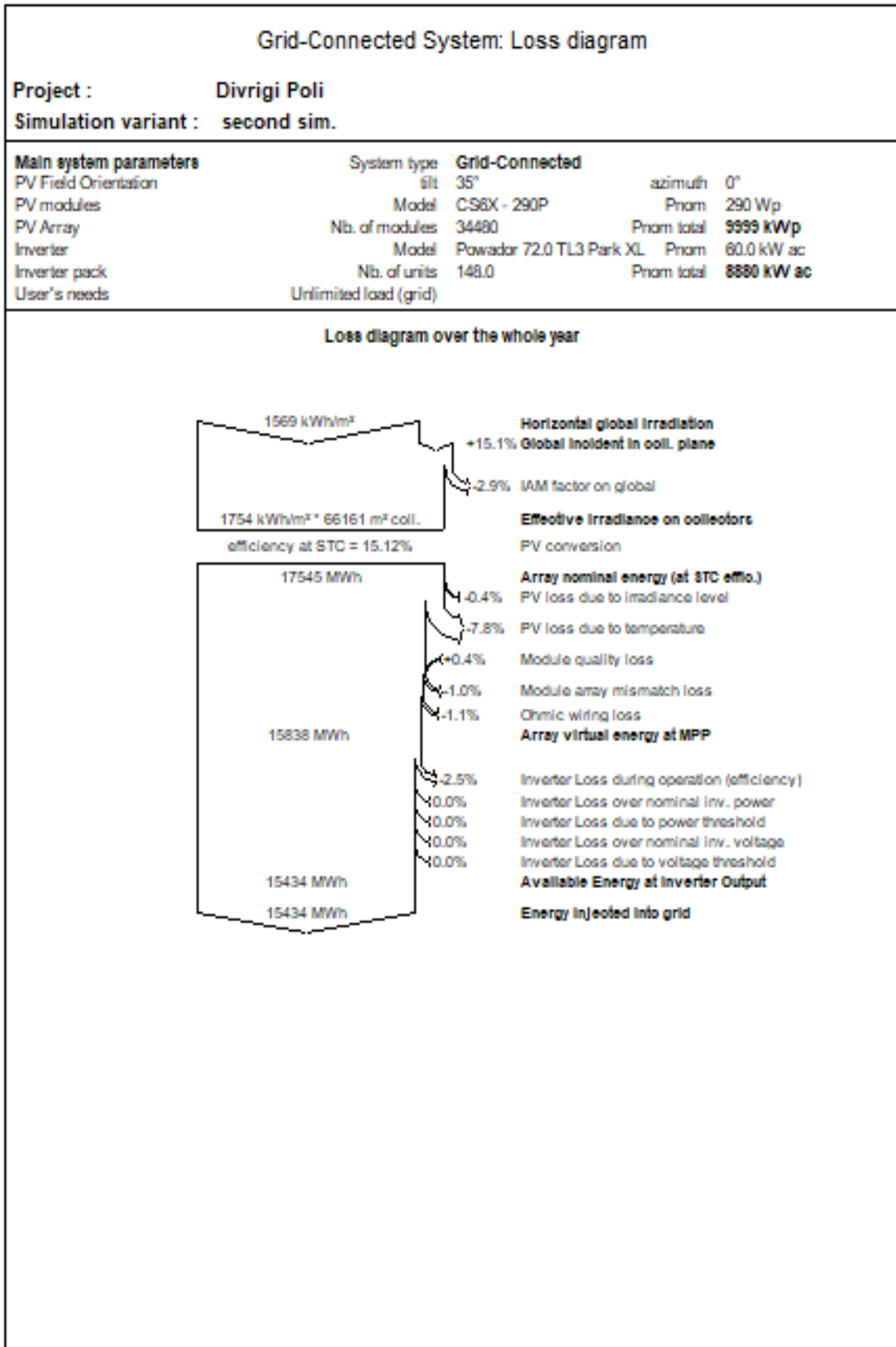
second sim.

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	63.0	-2.71	110.9	108.1	1067	1041	14.54	14.19
February	79.5	-0.82	118.8	115.7	1118	1091	14.23	13.88
March	119.6	5.56	150.3	146.0	1382	1349	13.90	13.56
April	149.1	10.71	157.8	153.0	1409	1374	13.49	13.16
May	176.1	15.49	167.8	162.2	1450	1413	13.06	12.73
June	198.4	20.05	181.5	175.4	1529	1489	12.73	12.40
July	209.1	24.28	195.0	188.5	1614	1572	12.51	12.18
August	206.7	24.29	214.5	208.5	1745	1699	12.30	11.97
September	149.7	18.75	177.1	172.5	1494	1455	12.75	12.42
October	104.9	13.04	143.5	140.0	1257	1225	13.24	12.90
November	62.5	5.60	98.7	96.1	907	885	13.89	13.55
December	50.3	-0.17	90.5	88.2	860	839	14.36	14.01
Year	1568.8	11.24	1806.4	1754.1	15832	15434	13.25	12.91

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Şekil 4.27 Divriği sonuç ekranı (b)



Şekil 4.28 Divriği sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :	Divriği Poli		
Simulation variant :	second sim.		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total 9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 290 Wp)	34480 units	75 US\$ / unit	2599792 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			195303 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			7413495 US\$
Financing			
Gross investment (without taxes)			7413495 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		1334429 US\$
Gross investment (including VAT)			8747924 US\$
Subsidies			-1334429 US\$
Net investment (all taxes included)			7413495 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)		1314640 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			372244 US\$/year
Total yearly cost			1686884 US\$/year
Energy cost			
Produced Energy			15434 MWh / year
Cost of produced energy			0.11 US\$ / kWh

Şekil 4.29 Divriği sonuç ekranı (d)

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : Divrigi Poli
Simulation variant : second sim.

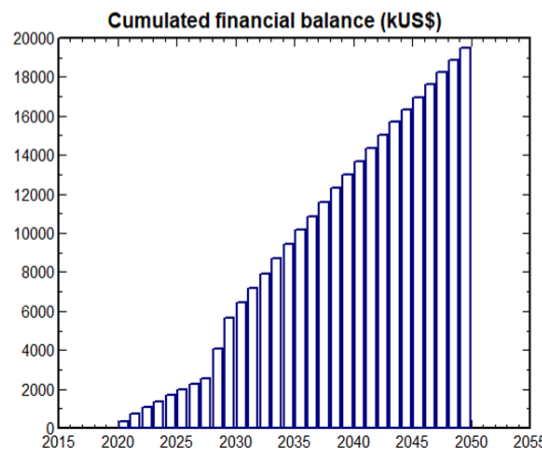
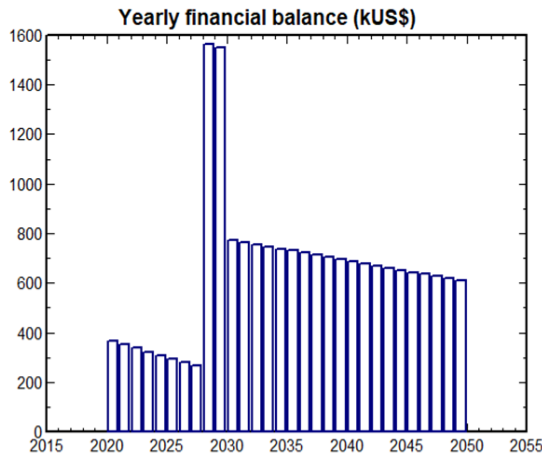
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total 9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Electricity sale

Feed-in Tariff **0.13 US\$/kWh** Warranty over **10 years**
 Annual connexion tax **0 US\$**

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation **0.0 % / year**
 Annual production reduction **-0.7 % / year**
 Feed-in tariff Warranty over **10 years**
 Tariff reduction after contractual warranty **-40 %**
 Loan duration (payment of annuities) **8 years**



Long term economic balance

Year	Loan 8.5 %	Running costs	Sold energy	Yearly Balance	Cumul. Balance
2020	1315	372	2053	366	366
2021	1315	372	2038	351	717
2022	1315	372	2024	337	1054
2023	1315	372	2010	323	1377
2024	1315	372	1995	308	1685
2025	1315	372	1981	294	1979
2026	1315	372	1966	280	2259
2027	1315	372	1952	265	2524
2028	0	372	1938	1565	4090
2029	0	372	1923	1551	5641
2030	0	372	1145	773	6414
2031	0	372	1137	765	7178
2032	0	372	1128	756	7934
2033	0	372	1120	747	8682
2034	0	372	1111	739	9420
2035	0	372	1102	730	10150
2036	0	372	1094	721	10872
2037	0	372	1085	713	11584
2038	0	372	1076	704	12289
2039	0	372	1068	696	12984
2040	0	372	1059	687	13671
2041	0	372	1051	678	14349
2042	0	372	1042	670	15019
2043	0	372	1033	661	15680
2044	0	372	1025	652	16333
2045	0	372	1016	644	16977
2046	0	372	1007	635	17612
2047	0	372	999	627	18238
2048	0	372	990	618	18856
2049	0	372	982	609	19466

Şekil 4.30 Divriği sonuç ekranı (e)

Şekil 4.31 – Şekil 4.35 arasındaki şekillerde Yıldızeli ilçesi için monokristal panellerle yapılan çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters													
Project :		Yıldızeli Mono											
Geographical Site		Yıldızeli					Country Turkey						
Situation		Latitude 39.9°N			Longitude 36.6°E			Time defined as Legal Time			Time zone UT+3		
Monthly albedo values		Altitude 1400 m											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82	
Meteo data:		Yıldızeli Meteororm 7.1 (2003-2012), Sat=100% - Synthetic											
Simulation variant :		first sim.											
		Simulation date 24/05/19 13h25											
Simulation parameters													
Collector Plane Orientation		Tilt 35°			Azimuth 0°								
Models used		Transposition Perez			Diffuse Perez, Meteororm								
Horizon		Free Horizon											
Near Shadings		No Shadings											
PV Array Characteristics													
PV module		Si-mono Model TSM-290DD05A.08(II)											
Original PVsyst database		Manufacturer Trina Solar											
Number of PV modules		In series 21 modules			In parallel 1642 strings								
Total number of PV modules		Nb. modules 34482			Unit Nom. Power 290 Wp								
Array global power		Nominal (STC) 10000 kWp			At operating cond. 9025 kWp (50°C)								
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 608 V			I mpp 14850 A								
Total area		Module area 56440 m²			Cell area 50109 m ²								
Inverter		Model Powador 72.0 TL3 Park XL											
Original PVsyst database		Manufacturer Kaco new energy											
Characteristics		Operating Voltage 200-850 V			Unit Nom. Power 60 kWac								
Inverter pack		Nb. of inverters 444 * MPPT 33 %			Total Power 8880 kWac								
PV Array loss factors													
Thermal Loss factor		Uc (const) 20.0 W/m ² K			Uv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s								
Wiring Ohmic Loss		Global array res. 0.69 mOhm			Loss Fraction 1.5 % at STC								
Module Quality Loss					Loss Fraction -0.4 %								
Module Mismatch Losses					Loss Fraction 1.0 % at MPP								
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)			bo Param. 0.05								
User's needs :		Unlimited load (grid)											

Şekil 4.31 Yıldızeli sonuç ekranı (a)

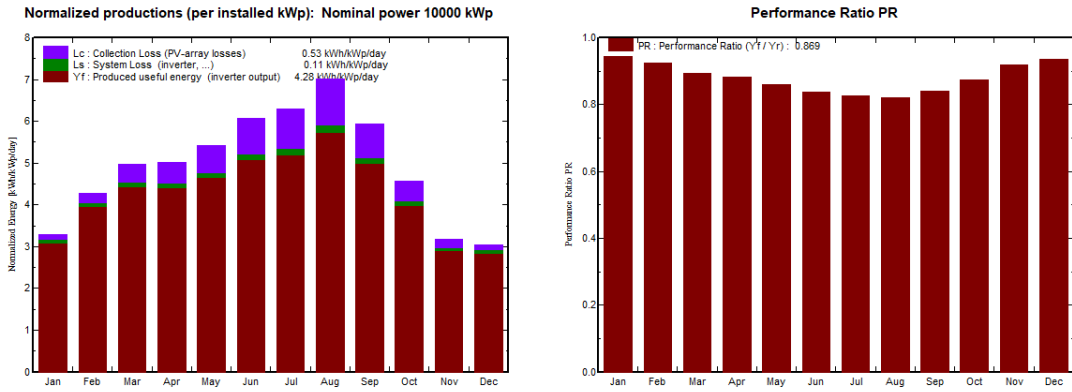
Grid-Connected System: Main results

Project : Yıldızeli Mono

Simulation variant : first sim.

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation		tilt	35°	azimuth 0°
PV modules		Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom 290 Wp
PV Array		Nb. of modules	34482	Pnom total 10000 kWp
Inverter		Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

Main simulation results				
System Production	Produced Energy	15624 MWh/year	Specific prod.	1562 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	86.9 %		
Investment	Global incl. taxes	7780341 US\$	Specific	0.78 US\$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1379693 US\$/yr	Running Costs	374498 US\$/yr
Energy cost		0.11 US\$/kWh		



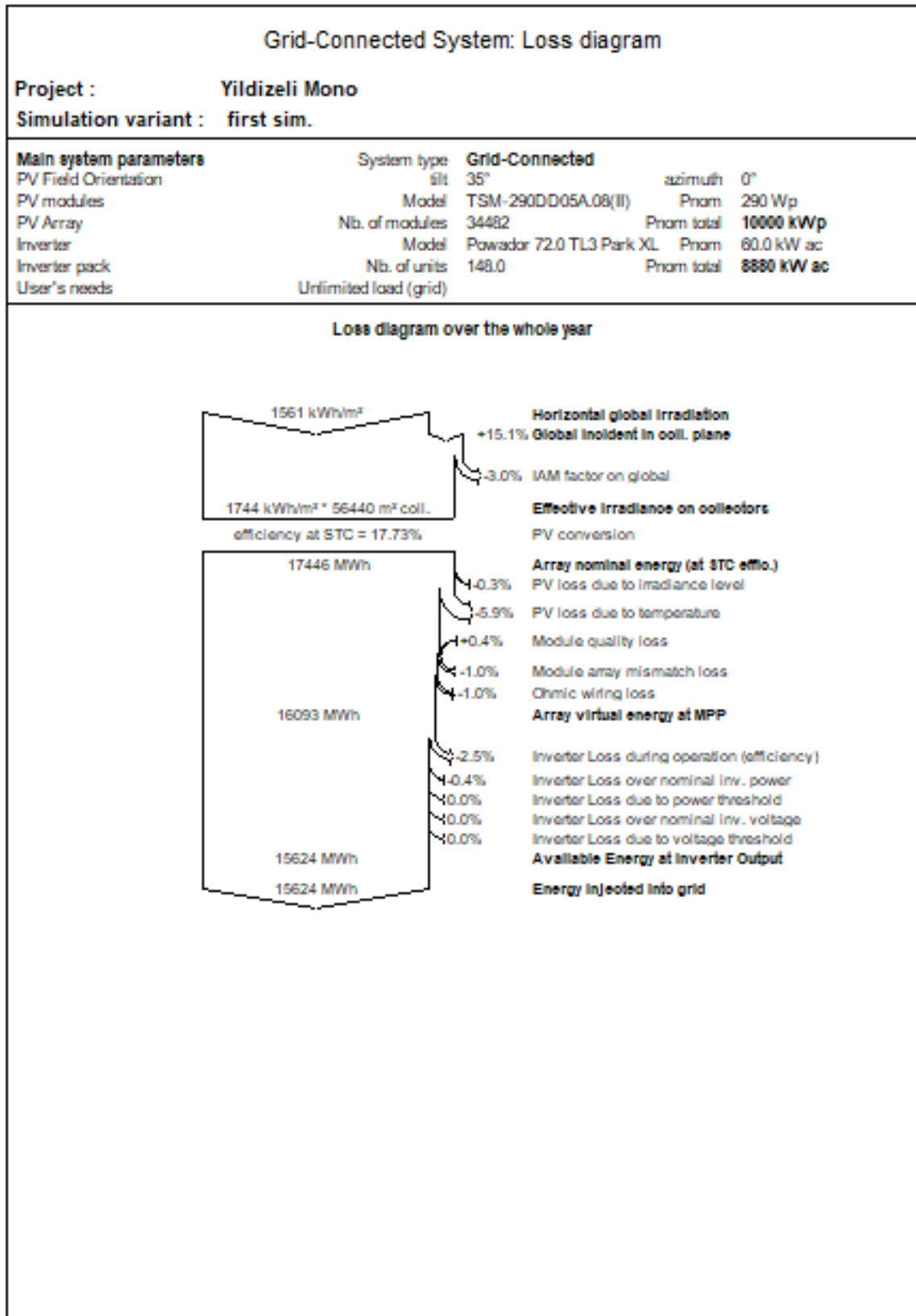
first sim.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	60.2	-3.26	101.6	98.9	983	959	17.14	16.72
February	80.6	-2.13	119.8	116.7	1135	1108	16.78	16.38
March	124.1	4.35	154.3	150.0	1412	1377	16.21	15.81
April	142.3	9.26	150.2	145.4	1360	1326	16.04	15.64
May	174.7	13.88	167.9	162.2	1481	1444	15.63	15.24
June	199.4	17.60	181.9	175.7	1566	1525	15.26	14.86
July	209.3	21.57	195.4	188.9	1657	1613	15.02	14.63
August	208.8	21.99	217.1	210.6	1830	1781	14.94	14.54
September	147.2	16.82	178.1	173.5	1537	1496	15.29	14.88
October	103.4	11.88	141.5	137.8	1270	1238	15.90	15.50
November	60.3	4.78	95.0	92.4	895	873	16.69	16.29
December	51.1	-1.04	94.5	91.9	906	884	16.98	16.57
Year	1561.4	9.71	1797.4	1743.9	16033	15624	15.80	15.40

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Şekil 4.32 Yıldızeli sonuç ekranı (b)



Şekil 4.33 Yıldızeli sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation

Project : Yıldızeli Mono

Simulation variant : first sim.

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total	10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Investment

PV modules (Pnom = 290 Wp)	34482 units	84 US\$ / unit	2899937 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			262004 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			7780341 US\$

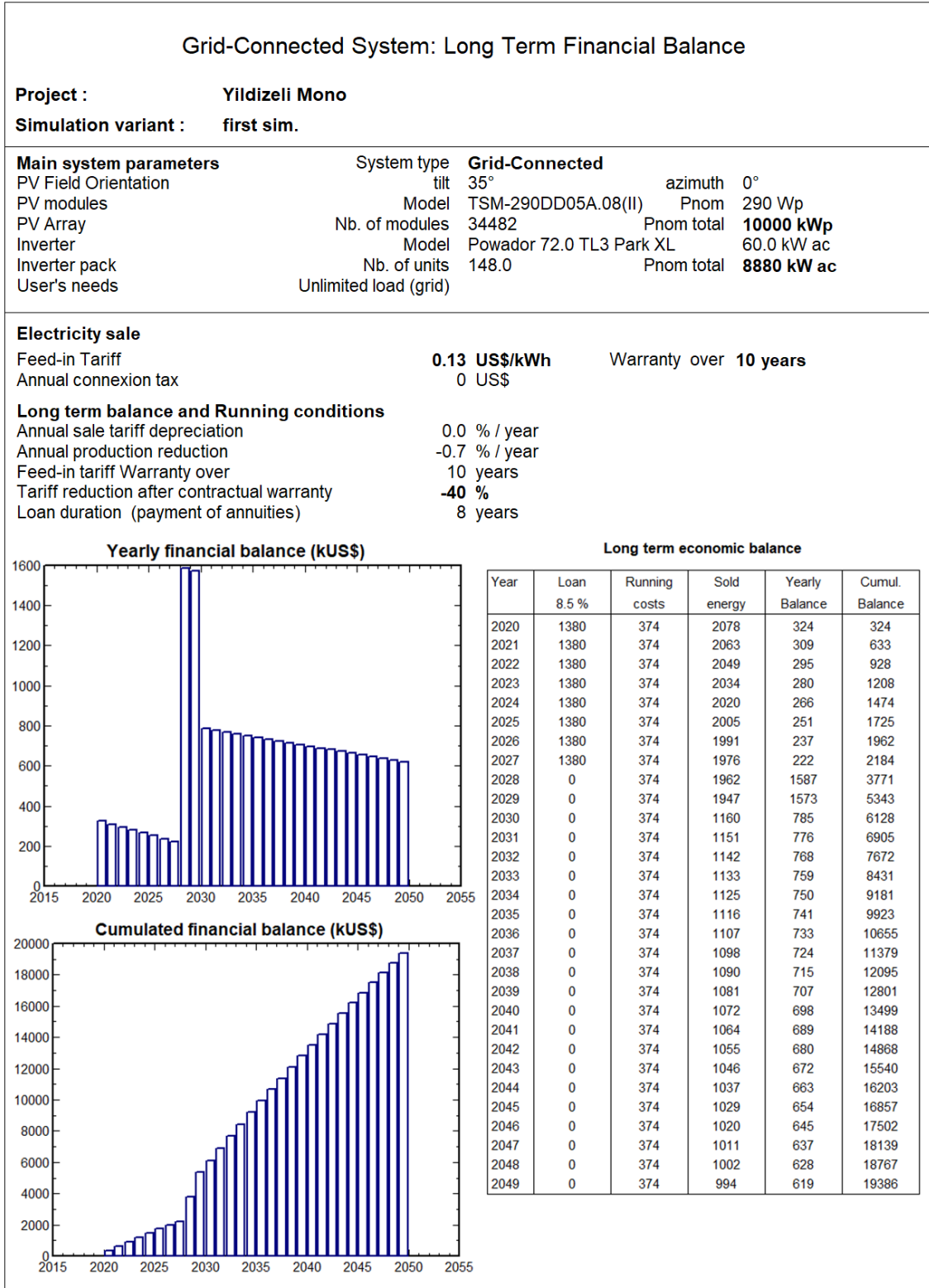
Financing

Gross investment (without taxes)		7780341 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %	1400461 US\$
Gross investment (including VAT)		9180802 US\$
Subsidies		-1400461 US\$
Net investment (all taxes included)		7780341 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)	1379693 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...		374498 US\$/year
Total yearly cost		1754191 US\$/year

Energy cost

Produced Energy	15624 MWh / year
Cost of produced energy	0.11 US\$ / kWh

Şekil 4.34 Yıldızeli sonuç ekranı (d)



Şekil 4.35 Yıldizeli sonuç ekranı (e)

Şekil 4.36 – Şekil 4.40 arasındaki şekillerde Yıldızeli ilçesi için polikristal panel kullanılarak yapılan çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :	Yıldızeli Poli											
Geographical Site	Yıldızeli						Country	Turkey				
Situation	Latitude		39.9°N			Longitude		36.6°E				
Time defined as	Legal Time		Time zone UT+3			Altitude		1400 m				
Monthly albedo values												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82
Meteo data:	Yıldızeli Meteororm 7.1 (2003-2012), Sat=100% - Synthetic											
Simulation variant :	second sim.											
	Simulation date		24/05/19 14h19									
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation	Tilt		35°			Azimuth		0°				
Models used	Transposition		Perez			Diffuse		Perez, Meteororm				
Horizon	Free Horizon											
Near Shadings	No Shadings											
PV Array Characteristics												
PV module	Si-poly	Model	CS6X - 290P									
<small>Original PVsyst database</small>	Manufacturer	Canadian Solar Inc.										
Number of PV modules	In series	20 modules		In parallel	1724 strings							
Total number of PV modules	Nb. modules	34480		Unit Nom. Power	290 Wp							
Array global power	Nominal (STC)	9999 kWp		At operating cond.	8923 kWp (50°C)							
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	633 V		I mpp	14088 A							
Total area	Module area	66161 m²		Cell area	60426 m²							
Inverter												
<small>Original PVsyst database</small>	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL										
Characteristics	Manufacturer	Kaco new energy										
Inverter pack	Operating Voltage	200-850 V		Unit Nom. Power	60 kWac							
	Nb. of inverters	444 * MPPT 33 %		Total Power	8880 kWac							
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K		Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s							
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	0.76 mOhm		Loss Fraction	1.5 % at STC							
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.4 %							
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP							
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param.	0.05							
User's needs :	Unlimited load (grid)											

Şekil 4.36 Yıldızeli sonuç ekranı (a)

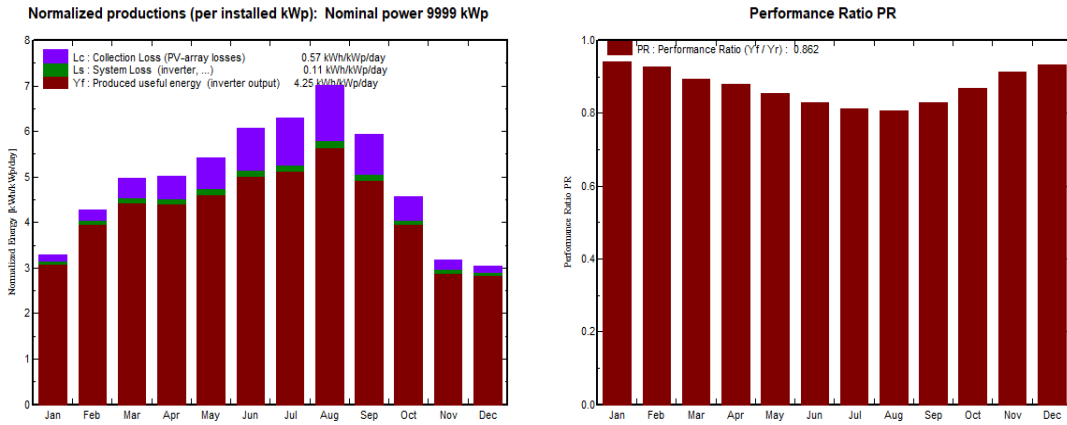
Grid-Connected System: Main results

Project : Yildizeli Poli

Simulation variant : second sim.

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total 9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results	Produced Energy	15499 MWh/year	Specific prod.	1550 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	86.2 %		
Investment	Global incl. taxes	7480196 US\$	Specific	0.75 US\$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1326468 US\$/yr	Running Costs	373013 US\$/yr
Energy cost		0.11 US\$/kWh		



second sim.

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	60.2	-3.26	101.6	98.9	981	958	14.59	14.24
February	80.6	-2.13	119.8	116.7	1137	1110	14.34	14.00
March	124.1	4.35	154.3	150.0	1412	1377	13.82	13.49
April	142.3	9.26	150.2	145.4	1354	1321	13.62	13.29
May	174.7	13.88	167.9	162.2	1469	1433	13.22	12.90
June	199.4	17.60	181.9	175.7	1545	1505	12.84	12.51
July	209.3	21.57	195.4	188.9	1630	1588	12.61	12.28
August	208.8	21.99	217.1	210.6	1798	1751	12.52	12.19
September	147.2	16.82	178.1	173.5	1518	1479	12.88	12.55
October	103.4	11.88	141.5	137.8	1259	1228	13.45	13.12
November	60.3	4.78	95.0	92.4	889	868	14.15	13.82
December	51.1	-1.04	94.5	91.9	903	881	14.43	14.08
Year	1561.4	9.71	1797.4	1743.9	15895	15499	13.37	13.03

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

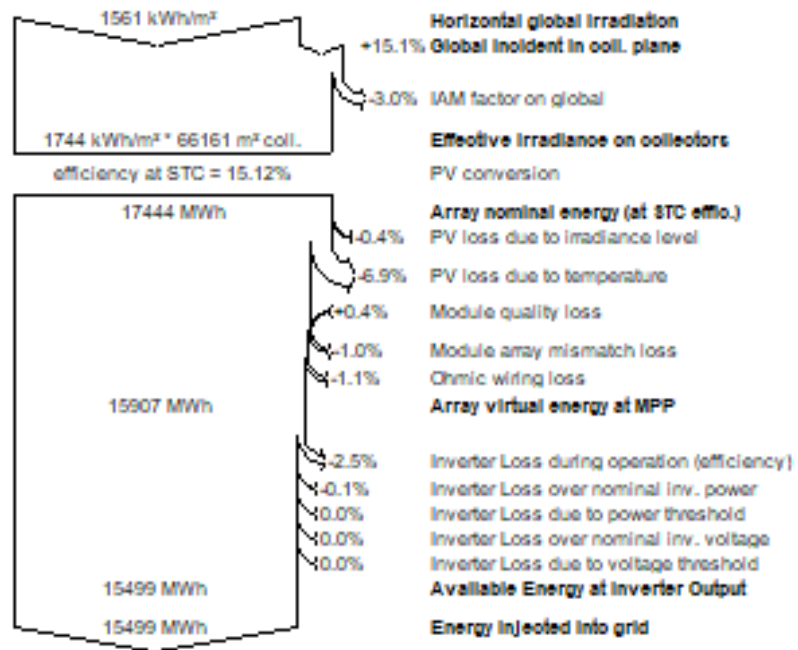
Şekil 4.37 Yıldızeli sonuç ekranı (b)

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Yildizeli Poli
Simulation variant : second sim.

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	Silt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	C-S6X - 290P	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total	9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	Pnom	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



Şekil 4.38 Yıldızeli sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :	Yıldızeli Poli		
Simulation variant :	second sim.		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total 9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 290 Wp)	34480 units	75 US\$ / unit	2599792 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			262004 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			7480196 US\$
Financing			
Gross investment (without taxes)			7480196 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		1346435 US\$
Gross investment (including VAT)			8826631 US\$
Subsidies			-1346435 US\$
Net investment (all taxes included)			7480196 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)		1326468 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			373013 US\$/year
Total yearly cost			1699481 US\$/year
Energy cost			
Produced Energy			15499 MWh / year
Cost of produced energy			0.11 US\$ / kWh

Şekil 4.39 Yıldızeli sonuç ekranı (d)

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : Yildizeli Poli

Simulation variant : second sim.

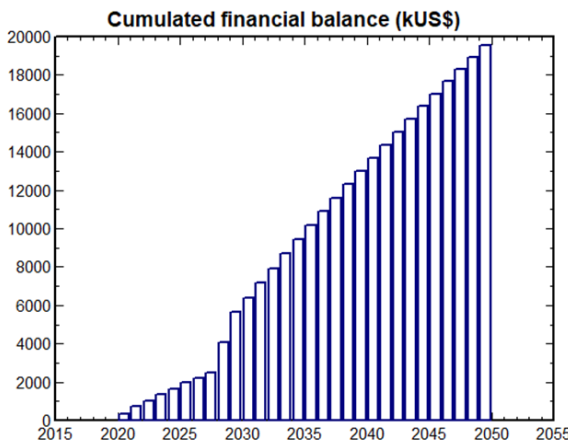
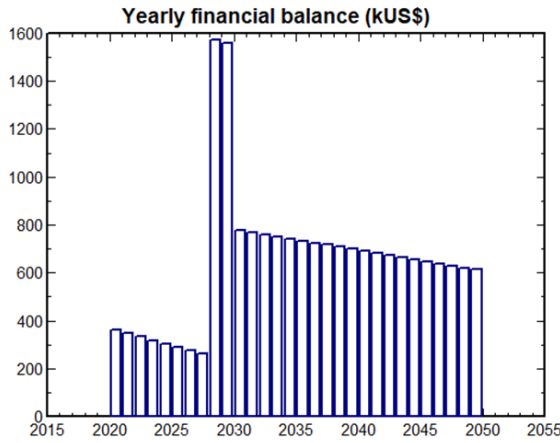
Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation		tilt	35°	azimuth 0°
PV modules		Model	CS6X - 290P	Pnom 290 Wp
PV Array		Nb. of modules	34480	Pnom total 9999 kWp
Inverter		Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

Electricity sale

Feed-in Tariff **0.13 US\$/kWh** Warranty over **10 years**
 Annual connexion tax **0 US\$**

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation **0.0 % / year**
 Annual production reduction **-0.7 % / year**
 Feed-in tariff Warranty over **10 years**
 Tariff reduction after contractual warranty **-40 %**
 Loan duration (payment of annuities) **8 years**



Long term economic balance

Year	Loan 8.5 %	Running costs	Sold energy	Yearly Balance	Cumul. Balance
2020	1326	373	2061	362	362
2021	1326	373	2047	347	709
2022	1326	373	2032	333	1042
2023	1326	373	2018	319	1361
2024	1326	373	2004	304	1665
2025	1326	373	1989	290	1955
2026	1326	373	1975	275	2230
2027	1326	373	1960	261	2491
2028	0	373	1946	1573	4064
2029	0	373	1931	1558	5622
2030	0	373	1150	777	6400
2031	0	373	1142	769	7168
2032	0	373	1133	760	7928
2033	0	373	1124	751	8679
2034	0	373	1116	743	9422
2035	0	373	1107	734	10156
2036	0	373	1098	725	10881
2037	0	373	1090	717	11598
2038	0	373	1081	708	12306
2039	0	373	1072	699	13005
2040	0	373	1064	691	13696
2041	0	373	1055	682	14378
2042	0	373	1046	673	15051
2043	0	373	1038	665	15716
2044	0	373	1029	656	16372
2045	0	373	1020	647	17019
2046	0	373	1012	639	17658
2047	0	373	1003	630	18288
2048	0	373	994	621	18909
2049	0	373	986	613	19522

Şekil 4.40 Yıldızeli sonuç ekranı (e)

Şekil 4.41 – Şekil 4.45 arasındaki şekillerde Zara ilçesinde monokristal panel kullanılarak yapılan çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :		Zara Mono										
Geographical Site		Zara					Country Turkey					
Situation		Latitude		39.9°N			Longitude		37.8°E			
Time defined as		Legal Time		Time zone UT+3			Altitude		1350 m			
Monthly albedo values												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82
Meteo data:		Zara Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic										
Simulation variant :		first sim.										
		Simulation date 24/05/19 15h05										
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation		Tilt		35°			Azimuth		0°			
Models used		Transposition		Perez			Diffuse		Perez, Meteonorm			
Horizon		Free Horizon										
Near Shadings		No Shadings										
PV Array Characteristics												
PV module		Si-mono		Model		TSM-290DD05A.08(II)						
<small>Original PVsyst database</small>		Manufacturer		Trina Solar								
Number of PV modules		In series		21 modules			In parallel		1642 strings			
Total number of PV modules		Nb. modules		34482			Unit Nom. Power		290 Wp			
Array global power		Nominal (STC)		10000 kWp			At operating cond.		9025 kWp (50°C)			
Array operating characteristics (50°C)		U mpp		608 V			I mpp		14850 A			
Total area		Module area		56440 m²			Cell area		50109 m ²			
Inverter		Model		Powador 72.0 TL3 Park XL								
<small>Original PVsyst database</small>		Manufacturer		Kaco new energy								
Characteristics		Operating Voltage		200-850 V			Unit Nom. Power		60 kWac			
Inverter pack		Nb. of inverters		444 * MPPT 33 %			Total Power		8880 kWac			
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor		Uc (const)		20.0 W/m ² K			Uv (wind)		0.0 W/m ² K / m/s			
Wiring Ohmic Loss		Global array res.		0.69 mOhm			Loss Fraction		1.5 % at STC			
Module Quality Loss							Loss Fraction		-0.4 %			
Module Mismatch Losses							Loss Fraction		1.0 % at MPP			
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =		1 - bo (1/cos i - 1)			bo Param.		0.05			
User's needs :		Unlimited load (grid)										

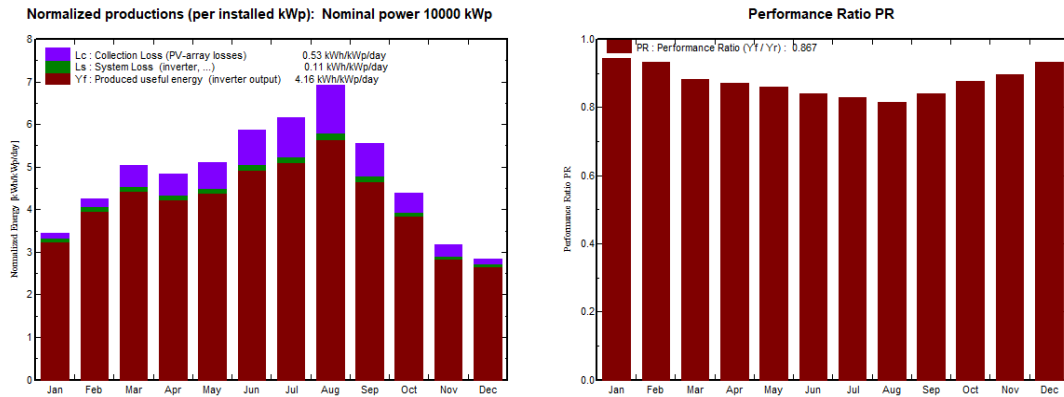
Şekil 4.41 Zara sonuç ekranı (a)

Grid-Connected System: Main results

Project : Zara Mono
Simulation variant : first sim.

Main system parameters		System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation		tilt	35°	azimuth	0°
PV modules		Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom	290 Wp
PV Array		Nb. of modules	34482	Pnom total	10000 kWp
Inverter		Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)			

Main simulation results					
System Production	Produced Energy	15199 MWh/year	Specific prod.	1520 kWh/kWp/year	
	Performance Ratio PR	86.7 %			
Investment	Global incl. taxes	10079929 US\$	Specific	1.01 US\$/Wp	
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1787480 US\$/yr	Running Costs	369459 US\$/yr	
Energy cost		0.14 US\$/kWh			



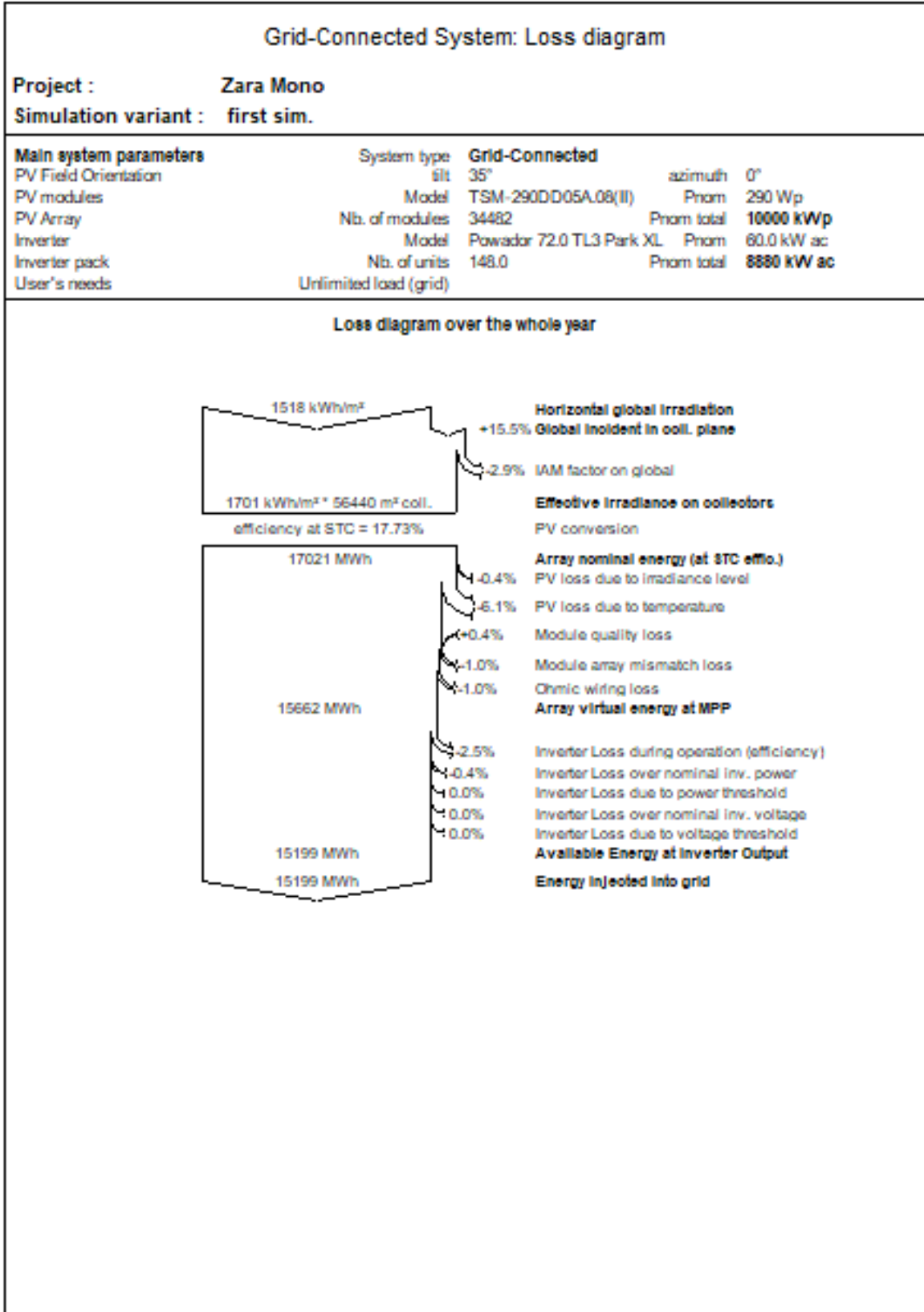
first sim.

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	60.2	-3.40	106.6	103.7	1032	1007	17.16	16.74
February	79.6	-2.04	119.2	116.1	1139	1111	16.93	16.52
March	124.8	4.36	156.0	151.7	1410	1374	16.01	15.61
April	137.5	9.44	145.4	141.0	1302	1269	15.86	15.46
May	166.0	13.99	158.4	153.1	1395	1360	15.60	15.21
June	192.3	17.70	175.9	169.9	1520	1480	15.31	14.90
July	202.7	21.77	190.9	184.5	1626	1583	15.09	14.69
August	206.2	22.08	214.7	208.5	1799	1750	14.85	14.44
September	141.5	17.01	166.4	162.0	1436	1399	15.29	14.89
October	99.7	11.97	136.0	132.5	1222	1192	15.92	15.52
November	57.7	4.79	95.1	92.7	875	853	16.30	15.88
December	49.5	-1.01	88.3	85.8	843	823	16.93	16.52
Year	1517.7	9.79	1752.9	1701.4	15598	15199	15.77	15.36

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Şekil 4.42 Zara sonuç ekranı (b)



Şekil 4.43 Zara sonuç ekranı (c)

Grid-Connected System: Economic evaluation

Project : Zara Mono

Simulation variant : first sim.

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total 10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Investment

PV modules (Pnom = 290 Wp)	34482 units	84 US\$ / unit	2899937 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			2561592 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			10079929 US\$

Financing

Gross investment (without taxes)		10079929 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %	1814387 US\$
Gross investment (including VAT)		11894316 US\$
Subsidies		-1814387 US\$
Net investment (all taxes included)		10079929 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)	1787480 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...		369459 US\$/year
Total yearly cost		2156939 US\$/year

Energy cost

Produced Energy	15199 MWh / year
Cost of produced energy	0.14 US\$ / kWh

Şekil 4.44 Zara sonuç ekranı (d)

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project : Zara Mono

Simulation variant : first sim.

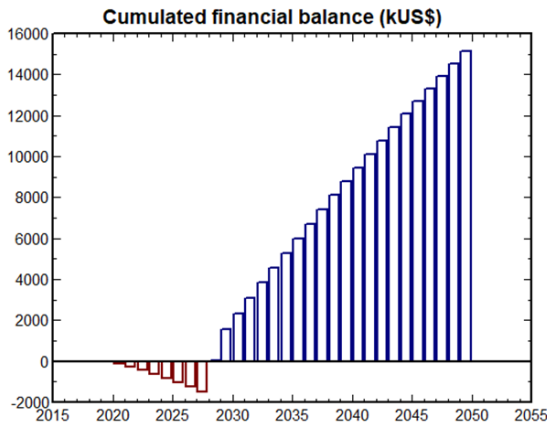
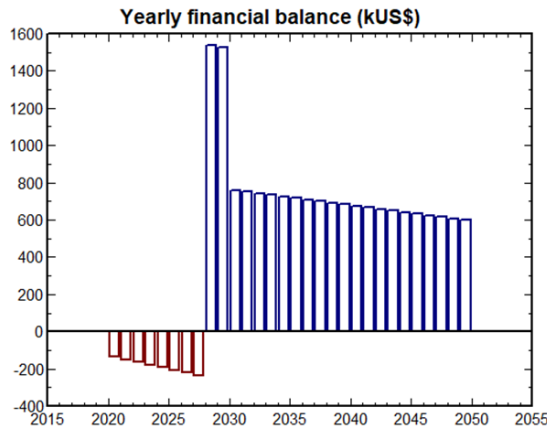
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	TSM-290DD05A.08(II)	Pnom	290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34482	Pnom total	10000 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total	8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Electricity sale

Feed-in Tariff **0.13 US\$/kWh** Warranty over **10 years**
 Annual connexion tax **0 US\$**

Long term balance and Running conditions

Annual sale tariff depreciation **0.0 % / year**
 Annual production reduction **-0.7 % / year**
 Feed-in tariff Warranty over **10 years**
 Tariff reduction after contractual warranty **-40 %**
 Loan duration (payment of annuities) **8 years**



Long term economic balance

Year	Loan 8.5 %	Running costs	Sold energy	Yearly Balance	Cumul. Balance
2020	1787	369	2022	-135	-135
2021	1787	369	2007	-150	-285
2022	1787	369	1993	-164	-449
2023	1787	369	1979	-178	-627
2024	1787	369	1965	-192	-819
2025	1787	369	1951	-206	-1025
2026	1787	369	1937	-220	-1245
2027	1787	369	1922	-234	-1480
2028	0	369	1908	1539	59
2029	0	369	1894	1525	1584
2030	0	369	1128	759	2343
2031	0	369	1120	750	3093
2032	0	369	1111	742	3834
2033	0	369	1103	733	4567
2034	0	369	1094	725	5292
2035	0	369	1086	716	6008
2036	0	369	1077	708	6716
2037	0	369	1069	699	7415
2038	0	369	1060	691	8105
2039	0	369	1052	682	8787
2040	0	369	1043	674	9461
2041	0	369	1035	665	10126
2042	0	369	1026	657	10783
2043	0	369	1018	648	11431
2044	0	369	1009	640	12071
2045	0	369	1001	631	12702
2046	0	369	992	623	13325
2047	0	369	984	614	13939
2048	0	369	975	606	14545
2049	0	369	967	597	15142

Şekil 4.45 Zara sonuç ekranı (e)

Şekil 4.46 – Şekil 4.50 arasındaki şekillerde Zara ilçesinde polikristal panel kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters												
Project :	Zara Poli											
Geographical Site	Zara						Country	Turkey				
Situation	Latitude			39.9°N			Longitude			37.8°E		
Time defined as	Legal Time			Time zone UT+3			Altitude			1350 m		
Monthly albedo values												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.82	0.82	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.82
Meteo data:	Zara Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic											
Simulation variant :	second sim.											
	Simulation date 24/05/19 15h32											
Simulation parameters												
Collector Plane Orientation	Tilt			35°			Azimuth			0°		
Models used	Transposition			Perez			Diffuse			Perez, Meteonorm		
Horizon	Free Horizon											
Near Shadings	No Shadings											
PV Array Characteristics												
PV module	Si-poly		Model		CS6X - 290P							
<small>Original PVsyst database</small>			Manufacturer		Canadian Solar Inc.							
Number of PV modules			In series		20 modules		In parallel		1724 strings			
Total number of PV modules			Nb. modules		34480		Unit Nom. Power		290 Wp			
Array global power			Nominal (STC)		9999 kWp		At operating cond.		8923 kWp (50°C)			
Array operating characteristics (50°C)			U mpp		633 V		I mpp		14088 A			
Total area			Module area		66161 m²		Cell area		60426 m ²			
Inverter												
<small>Original PVsyst database</small>			Model		Powador 72.0 TL3 Park XL							
Characteristics			Manufacturer		Kaco new energy							
Inverter pack			Operating Voltage		200-850 V		Unit Nom. Power		60 kWac			
			Nb. of inverters		444 * MPPT 33 %		Total Power		8880 kWac			
PV Array loss factors												
Thermal Loss factor			Uc (const)		20.0 W/m ² K		Uv (wind)		0.0 W/m ² K / m/s			
Wiring Ohmic Loss			Global array res.		0.76 mOhm		Loss Fraction		1.5 % at STC			
Module Quality Loss							Loss Fraction		-0.4 %			
Module Mismatch Losses							Loss Fraction		1.0 % at MPP			
Incidence effect, ASHRAE parametrization			IAM =		1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param.		0.05			
User's needs :	Unlimited load (grid)											

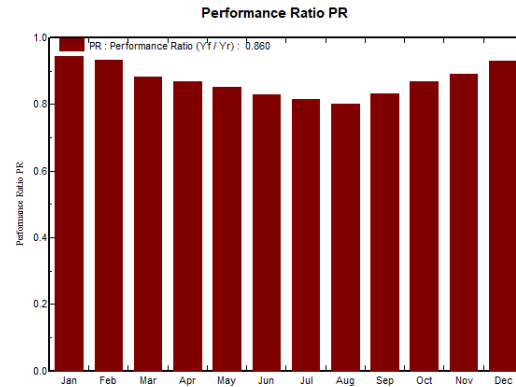
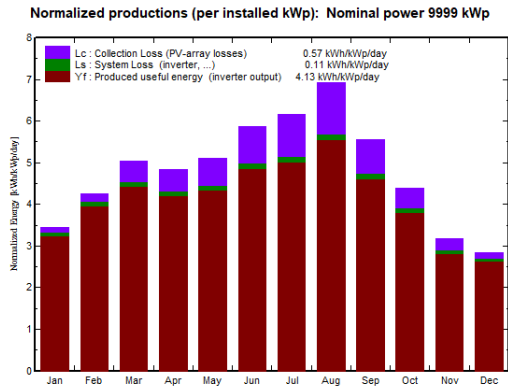
Şekil 4.46 Zara sonuç ekranı (a)

Grid-Connected System: Main results

Project : Zara Poli
Simulation variant : second sim.

Main system parameters	System type	Grid-Connected
PV Field Orientation	tilt	35°
PV modules	Model	CS6X - 290P
PV Array	Nb. of modules	34480
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL
Inverter pack	Nb. of units	148.0
User's needs	Unlimited load (grid)	
	azimuth	0°
	Pnom	290 Wp
	Pnom total	9999 kWp
	Pnom total	60.0 kW ac
	Pnom total	8880 kW ac

Main simulation results	Produced Energy	15075 MWh/year	Specific prod.	1508 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	86.0 %		
Investment	Global incl. taxes	9779784 US\$	Specific	0.98 US\$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 8.5%, 8 years)	1734256 US\$/yr	Running Costs	367987 US\$/yr
Energy cost		0.14 US\$/kWh		



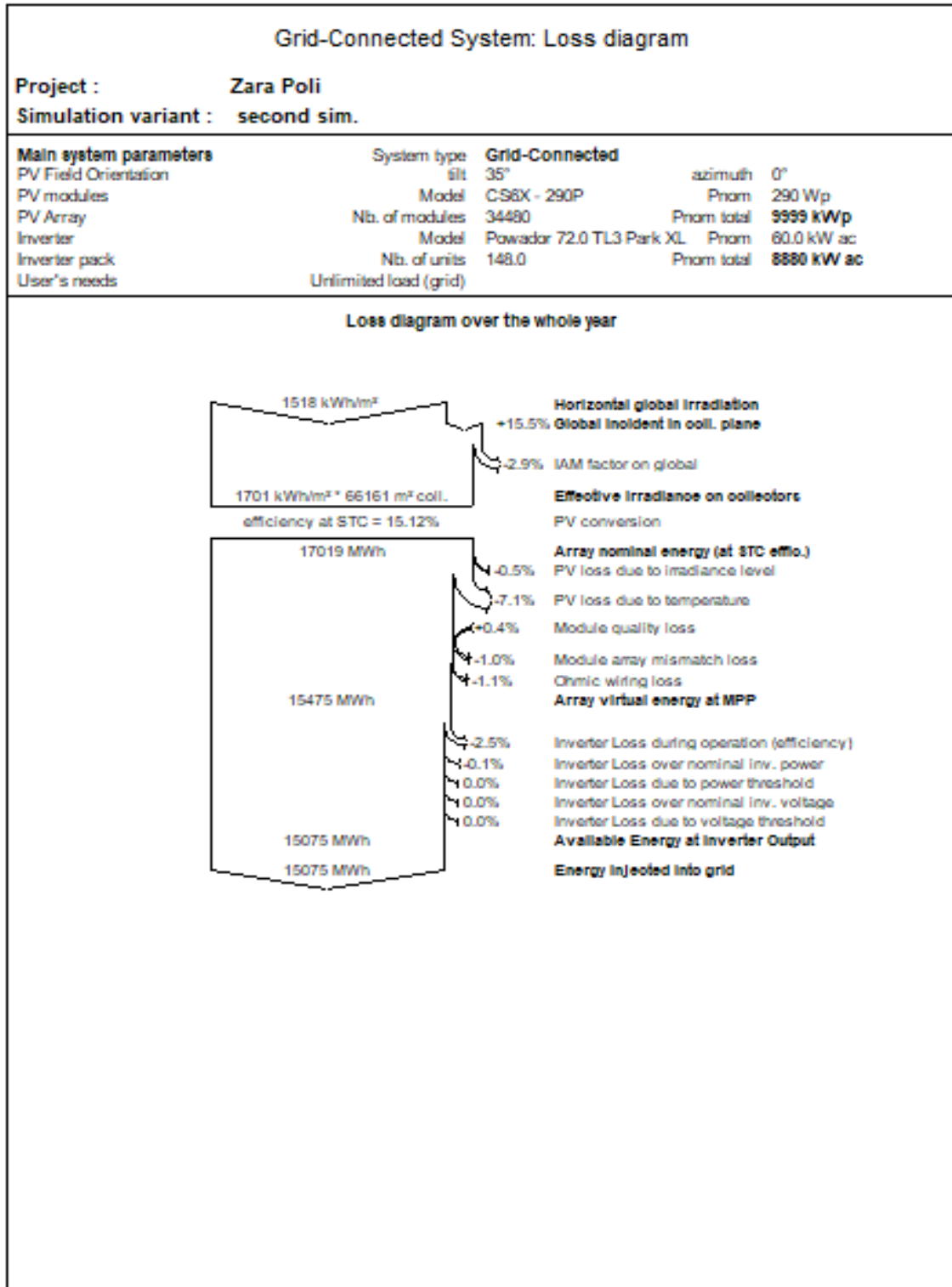
second sim.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	60.2	-3.40	106.6	103.7	1030	1006	14.61	14.26
February	79.6	-2.04	119.2	116.1	1140	1112	14.45	14.11
March	124.8	4.36	156.0	151.7	1409	1374	13.65	13.32
April	137.5	9.44	145.4	141.0	1296	1264	13.47	13.14
May	166.0	13.99	158.4	153.1	1382	1348	13.19	12.87
June	192.3	17.70	175.9	169.9	1497	1459	12.86	12.53
July	202.7	21.77	190.9	184.5	1599	1558	12.66	12.34
August	206.2	22.08	214.7	208.5	1766	1720	12.44	12.11
September	141.5	17.01	166.4	162.0	1422	1385	12.91	12.58
October	99.7	11.97	136.0	132.5	1211	1181	13.46	13.13
November	57.7	4.79	95.1	92.7	870	848	13.82	13.47
December	49.5	-1.01	88.3	85.8	840	820	14.38	14.04
Year	1517.7	9.79	1752.9	1701.4	15462	15075	13.33	13.00

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

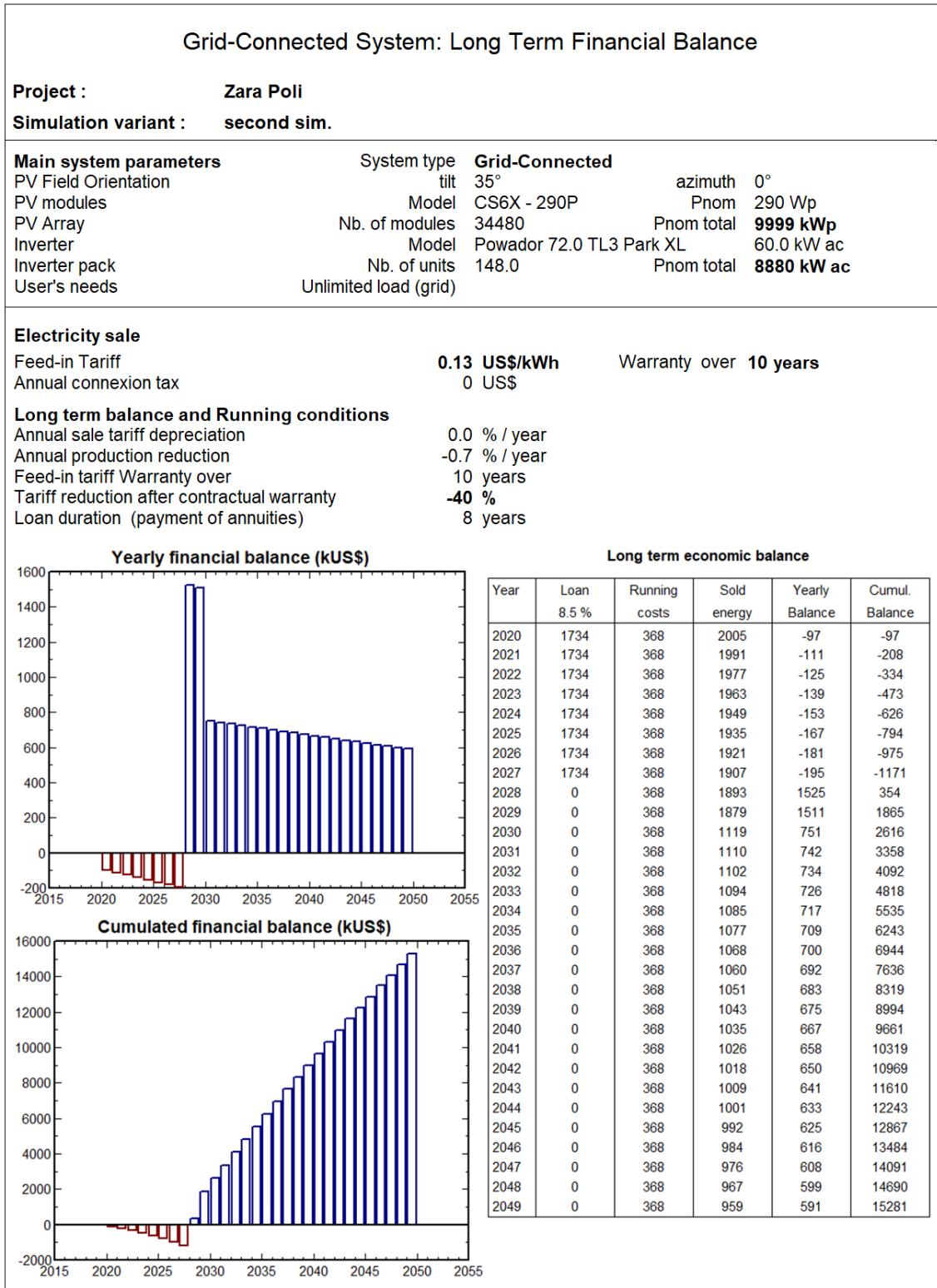
Şekil 4.47 Zara sonuç ekranı (b)



Şekil 4.48 Zara sonuç ekranı (c)

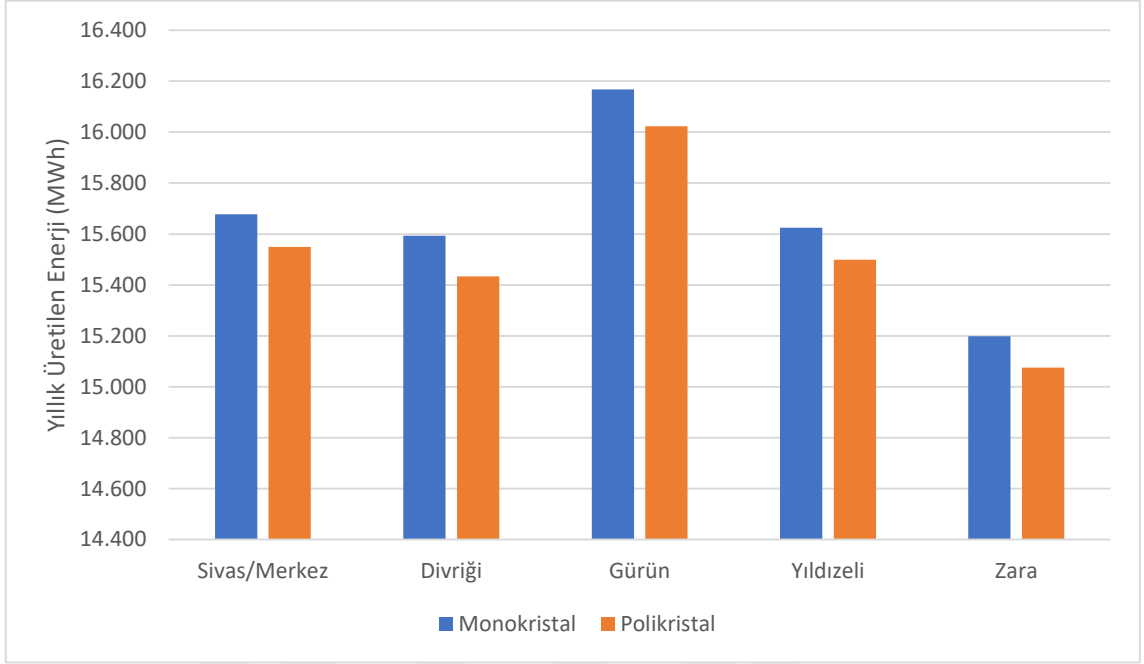
Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :	Zara Poli		
Simulation variant :	second sim.		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6X - 290P	Pnom 290 Wp
PV Array	Nb. of modules	34480	Pnom total 9999 kWp
Inverter	Model	Powador 72.0 TL3 Park XL	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	148.0	Pnom total 8880 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 290 Wp)	34480 units	75 US\$ / unit	2599792 US\$
Supports / Integration		25 US\$ / module	850000 US\$
Inverters (Pnom = 60.0 kW ac)	148 units	6300 US\$ / unit	932400 US\$
Settings, wiring, ...			650000 US\$
trafo vs.			410000 US\$
Arazi ve personel binasi			2561592 US\$
Digerleri			930000 US\$
Transport and assembly			660000 US\$
Gelistirme			186000 US\$
Substitution underworth			0 US\$
Gross investment (without taxes)			9779784 US\$
Financing			
Gross investment (without taxes)			9779784 US\$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		1760361 US\$
Gross investment (including VAT)			11540145 US\$
Subsidies			-1760361 US\$
Net investment (all taxes included)			9779784 US\$
Annuities	(Loan 8.5 % over 8 years)		1734256 US\$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			367987 US\$/year
Total yearly cost			2102243 US\$/year
Energy cost			
Produced Energy			15075 MWh / year
Cost of produced energy			0.14 US\$ / kWh

Şekil 4.49 Zara sonuç ekranı (d)



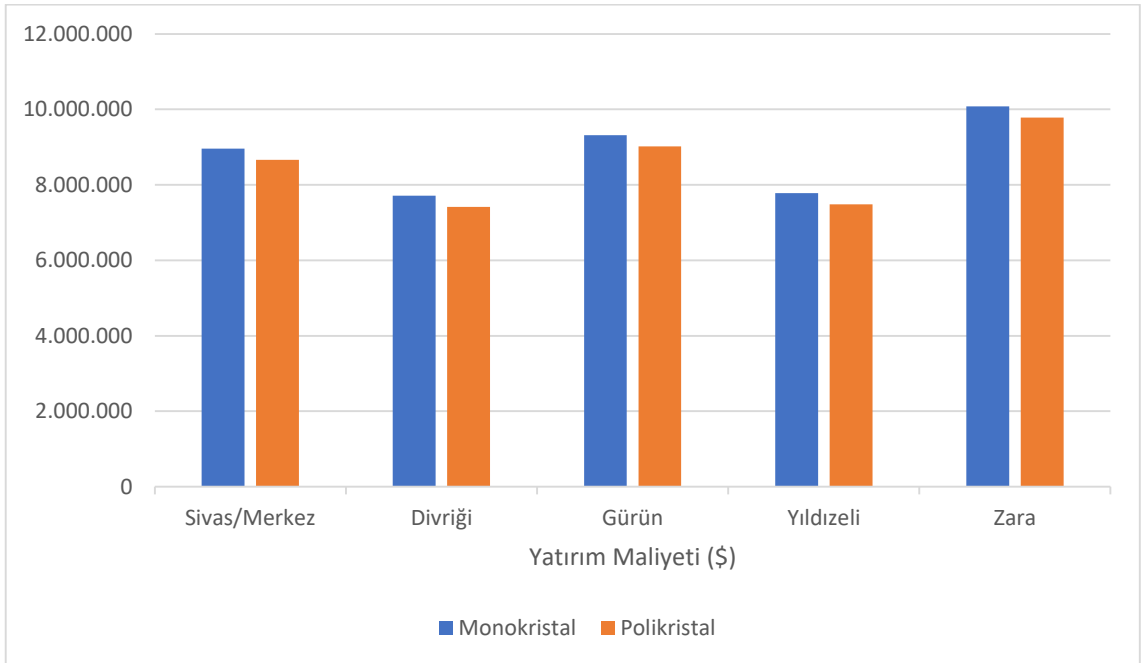
Şekil 4.50 Zara sonuç ekranı (e)

Şekil 4.51’ de incelenen ilçelerin monokristal ve polikristal panel olması durumunun yıllık üretilen enerji grafiği görülmektedir.



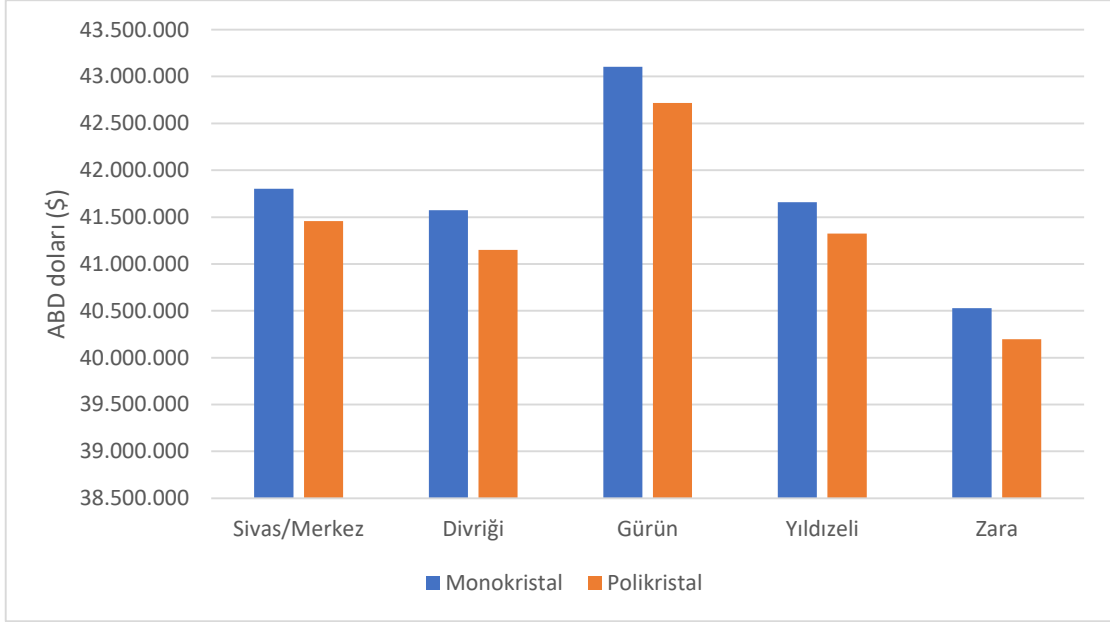
Şekil 4.51 Yıllık üretilen enerji

Şekil 4.52’ de incelenen ilçelerin monokristal ve polikristal panel kullanılması durumunda yatırım maliyetleri görülmektedir.

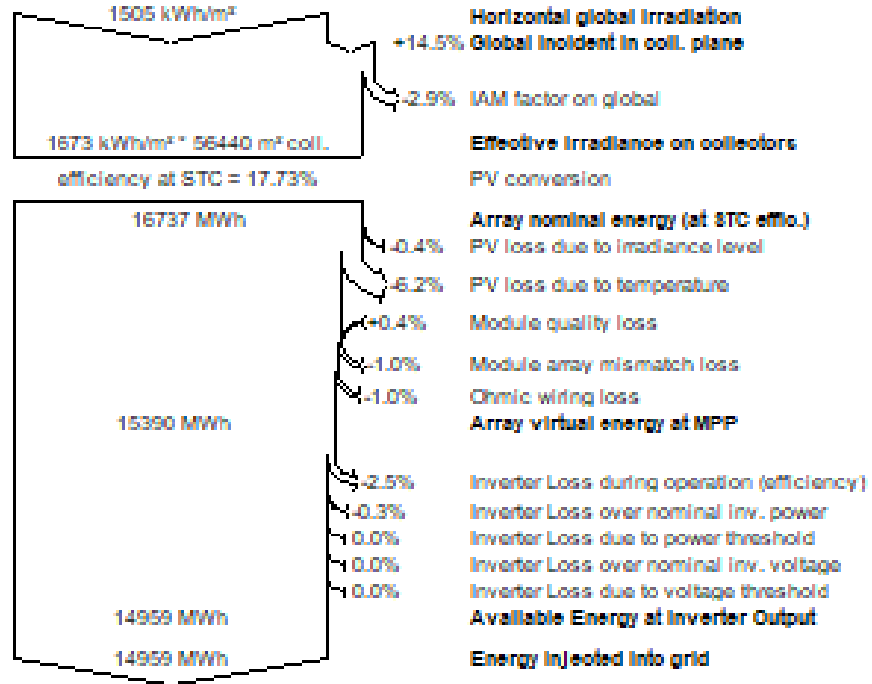


Şekil 4.52 Yatırım Maliyeti

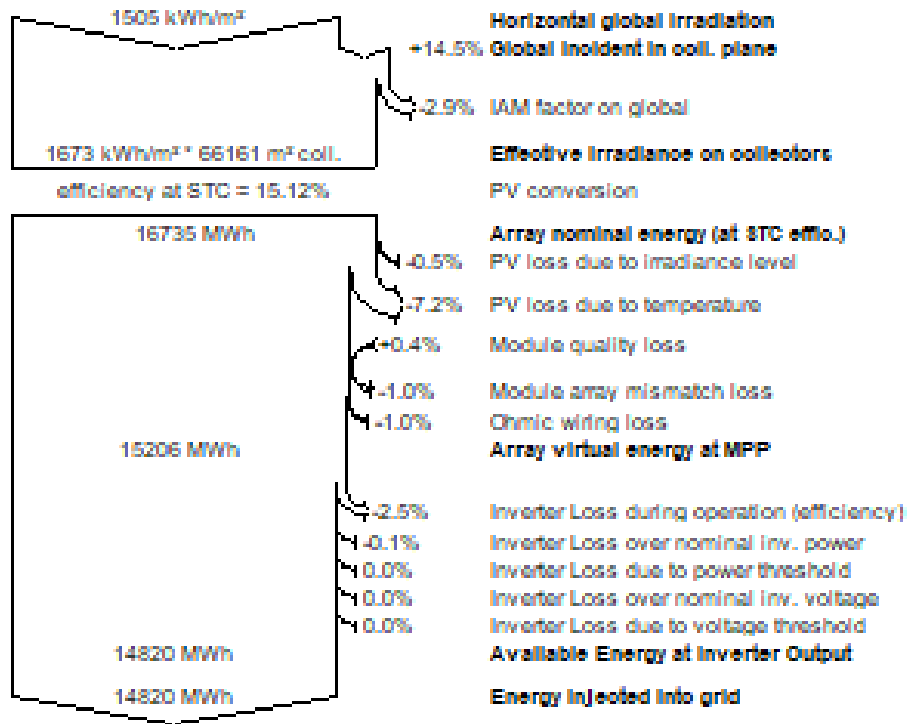
Şekil 4.53’ de incelenen ilçelerde kurulacak santrallerin ömrü boyunca satılan enerjiden elde edilen getiri durumları görülmektedir. Ayrıca bu tez çalışmasında Sivas’ ın diğer ilçelerinde aynı kurulu güce sahip santraller için yıllık üretilen enerji tespit çalışması yapılmıştır. Şekil 4.54 – Şekil 4.77 arasındaki şekillerde sonuçlar görülmektedir.



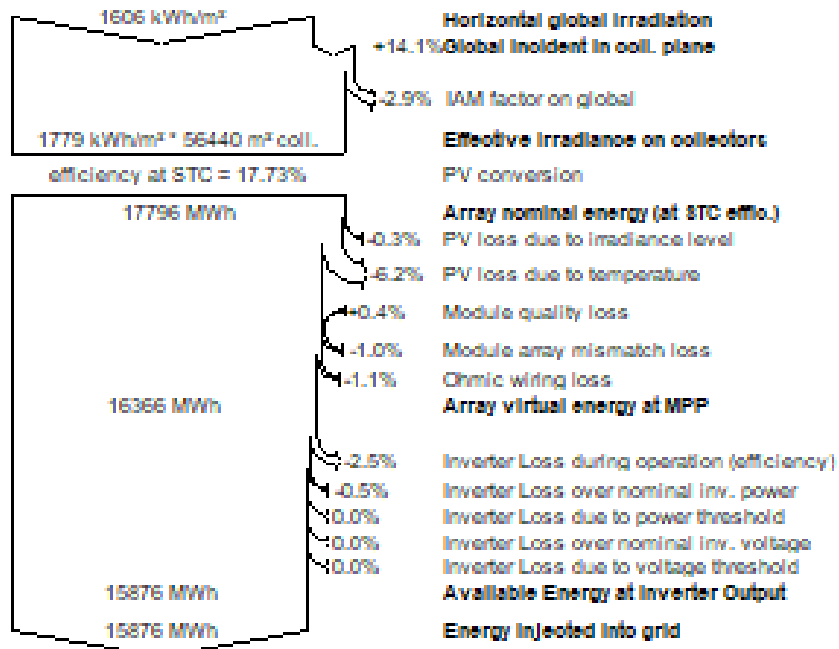
Şekil 4.53 Santral ömrü boyunca satılan enerjiden getiri



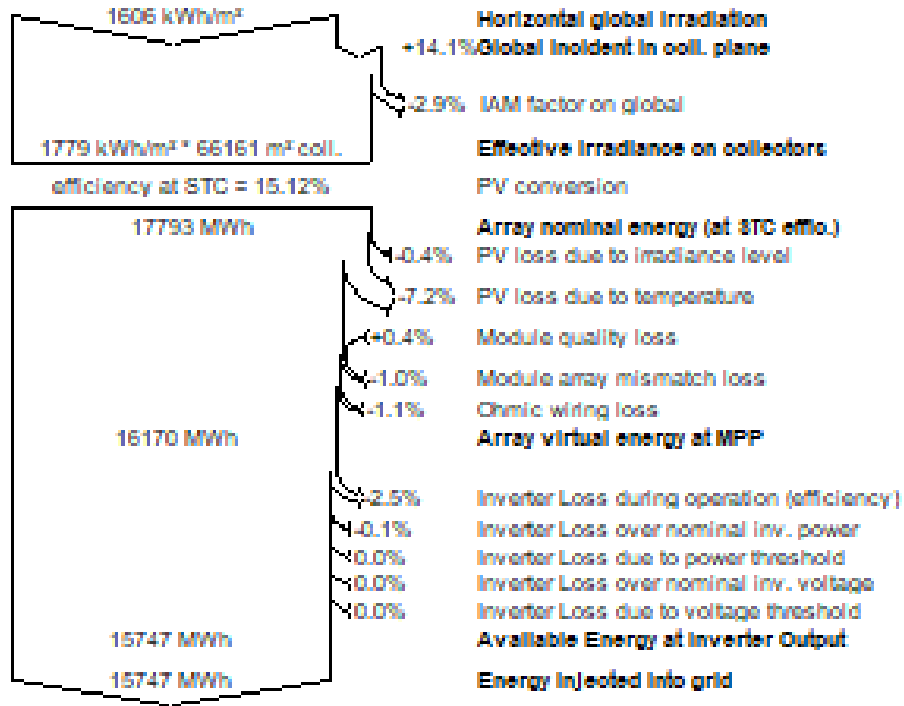
Şekil 4.54 Akıncılar monokristal yıllık üretilen enerji



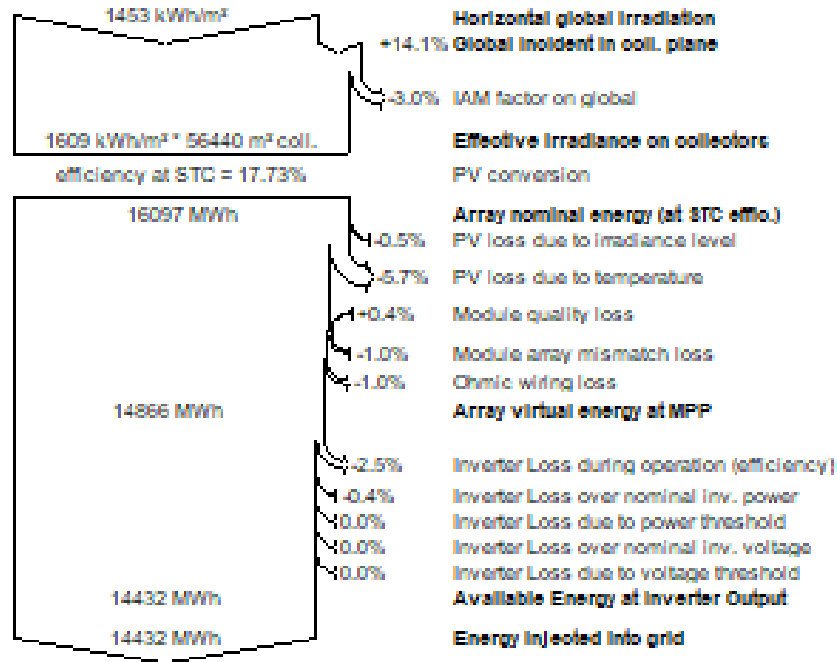
Şekil 4.55 Akıncılar polikristal yıllık üretilen enerji



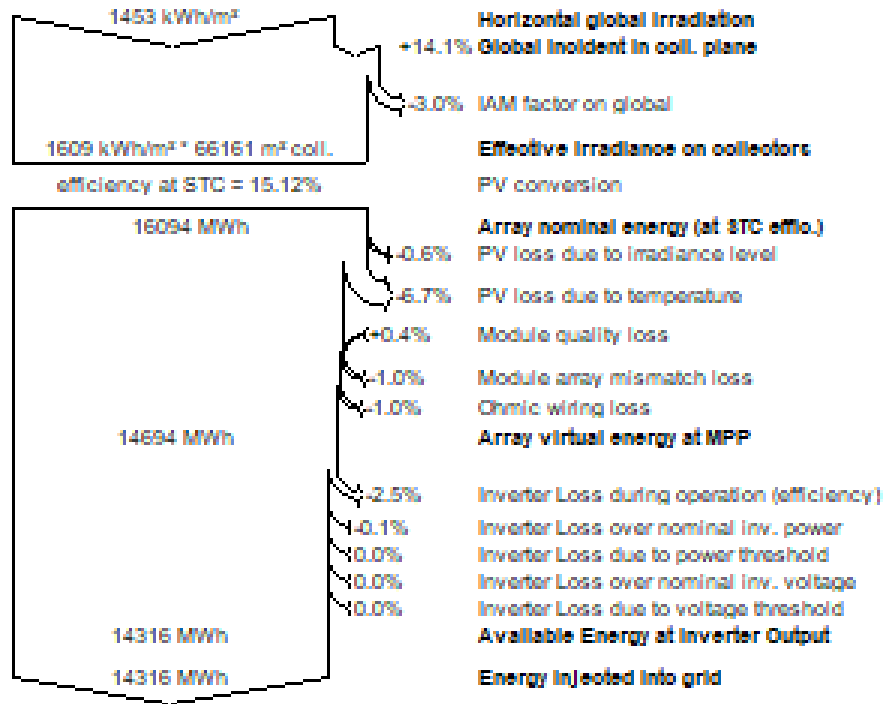
Şekil 4.56 Altınyayla monokristal yıllık üretilen enerji



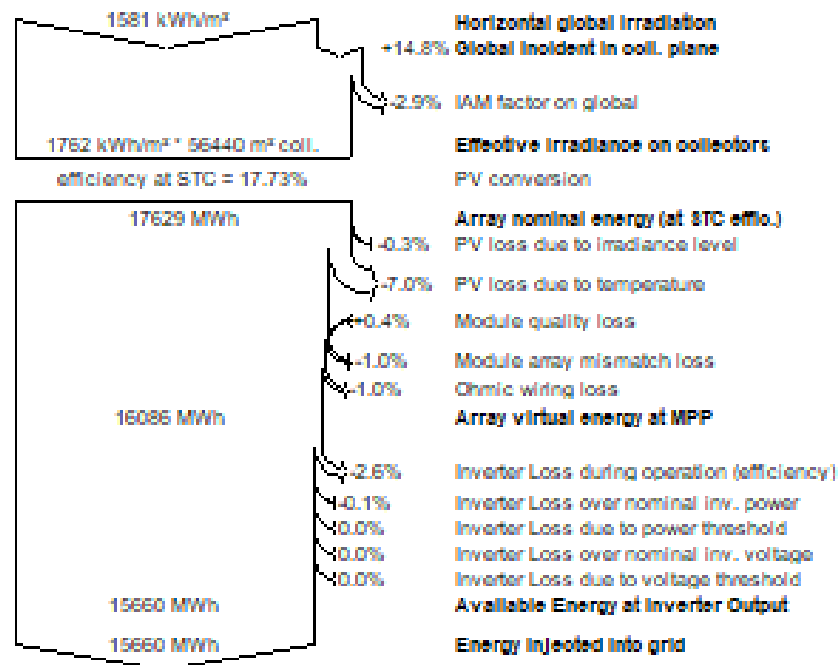
Şekil 4.57 Altınyayla polikristal yılım üretilen enerji



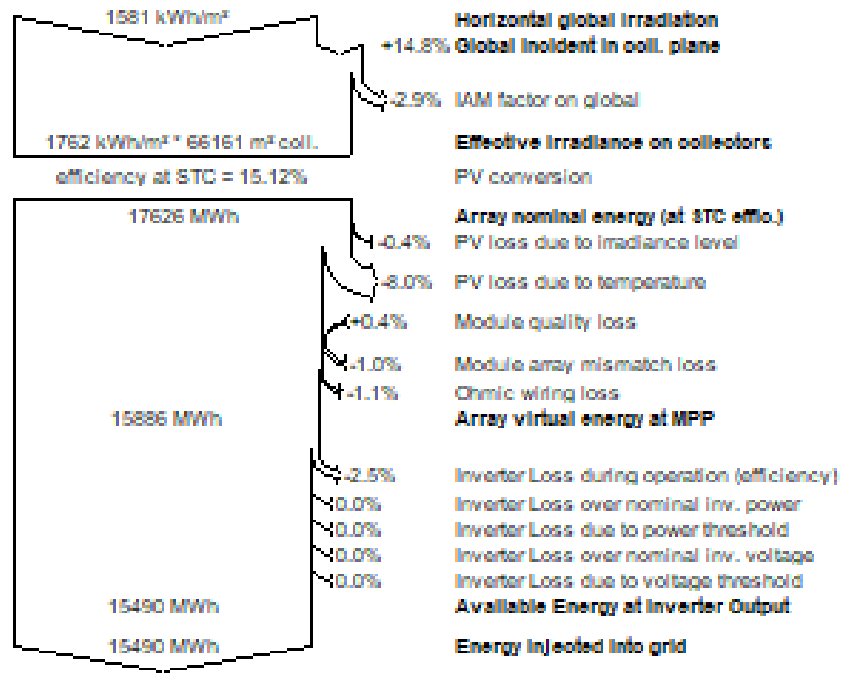
Şekil 4.58 Doğanşar monokristal yıllık üretilen enerji



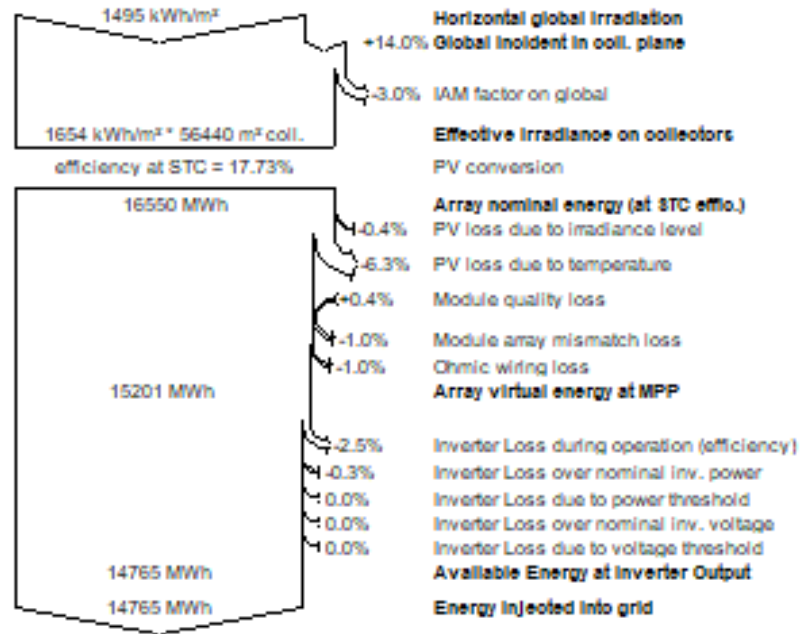
Şekil 4.59 Doğanşar polikristal yıllık üretilen enerji



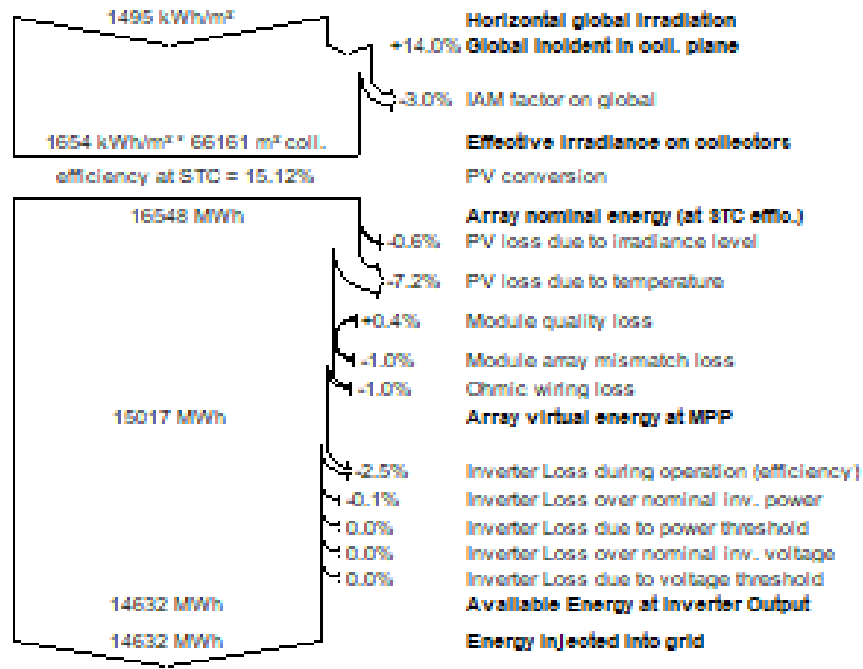
Şekil 4.60 Gemerek monokristal yıllık üretilen enerji



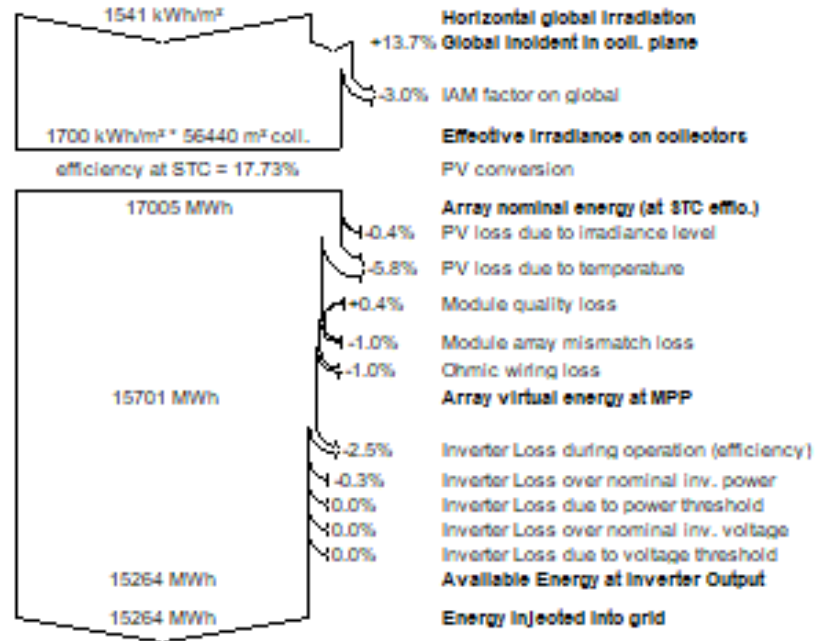
Şekil 4.61 Gemerek polikristal yıllık üretilen enerji



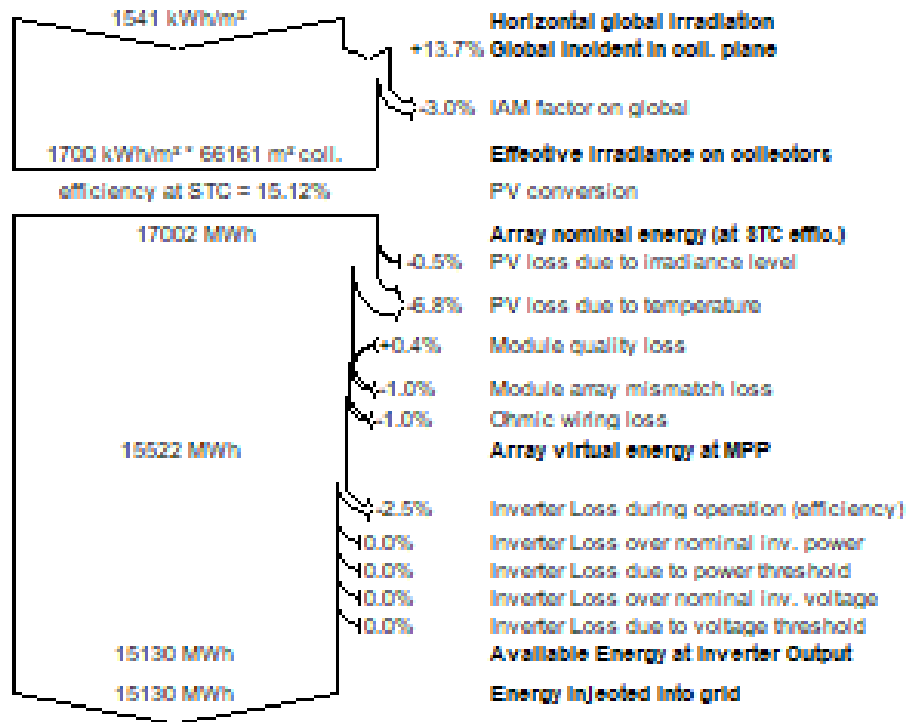
Şekil 4.62 Gölova monokristal yıllık üretilen enerji



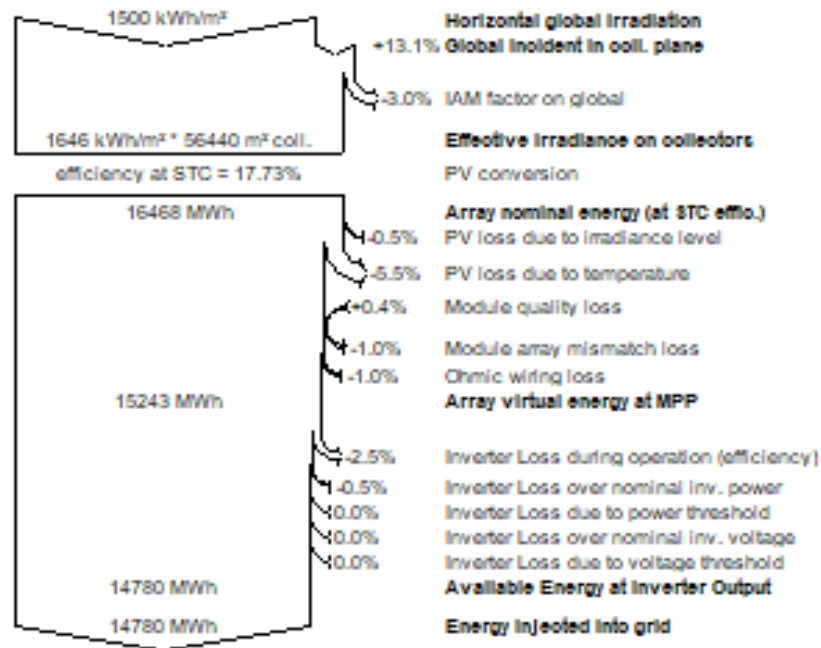
Şekil 4.63 Gölova polikristal yıllık üretilen enerji



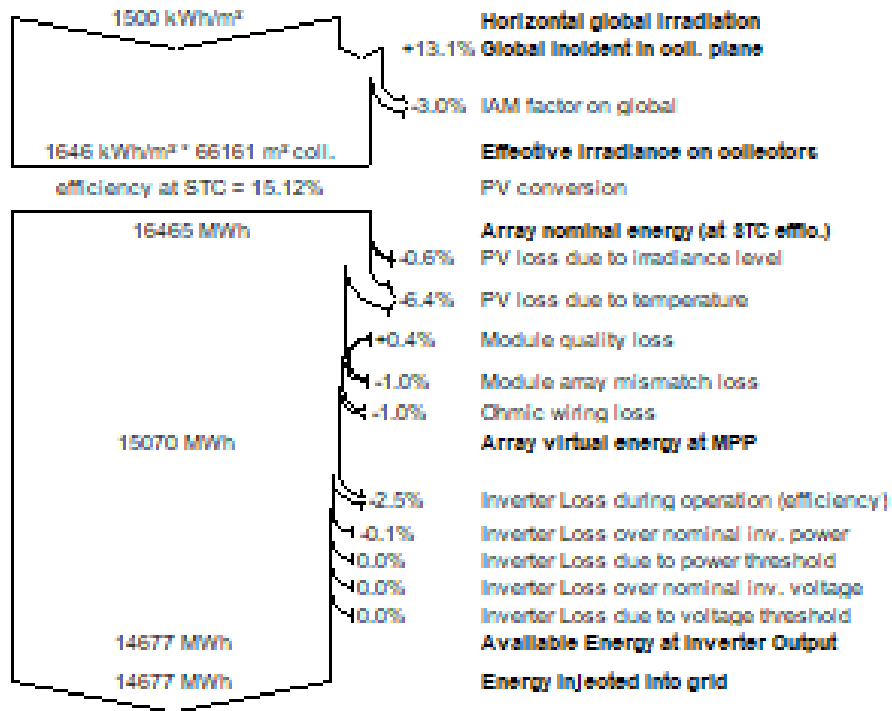
Şekil 4.64 Hafik monokristal yıllık üretilen enerji



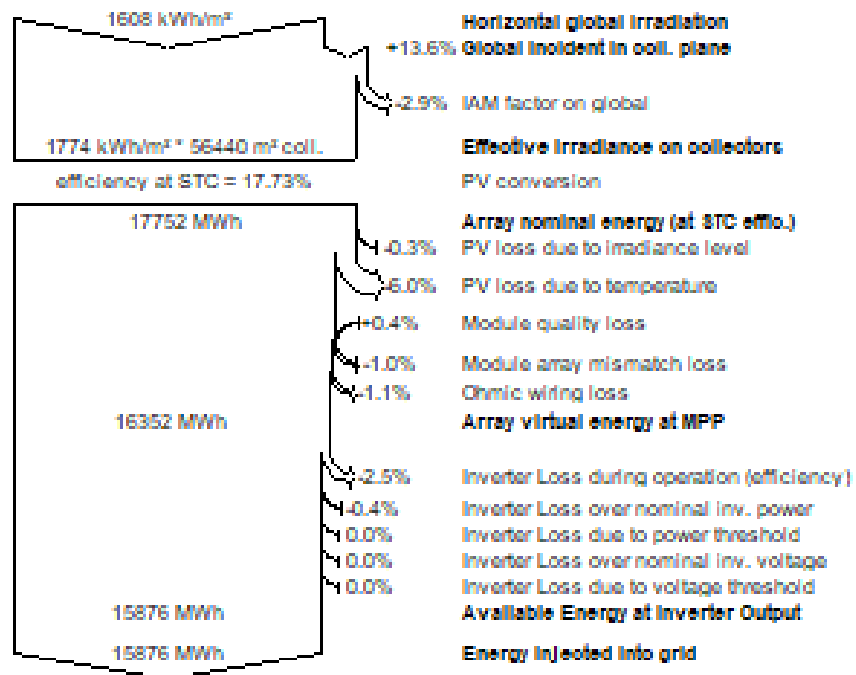
Şekil 4.65 Hafik polikristal yıllık üretilen enerji



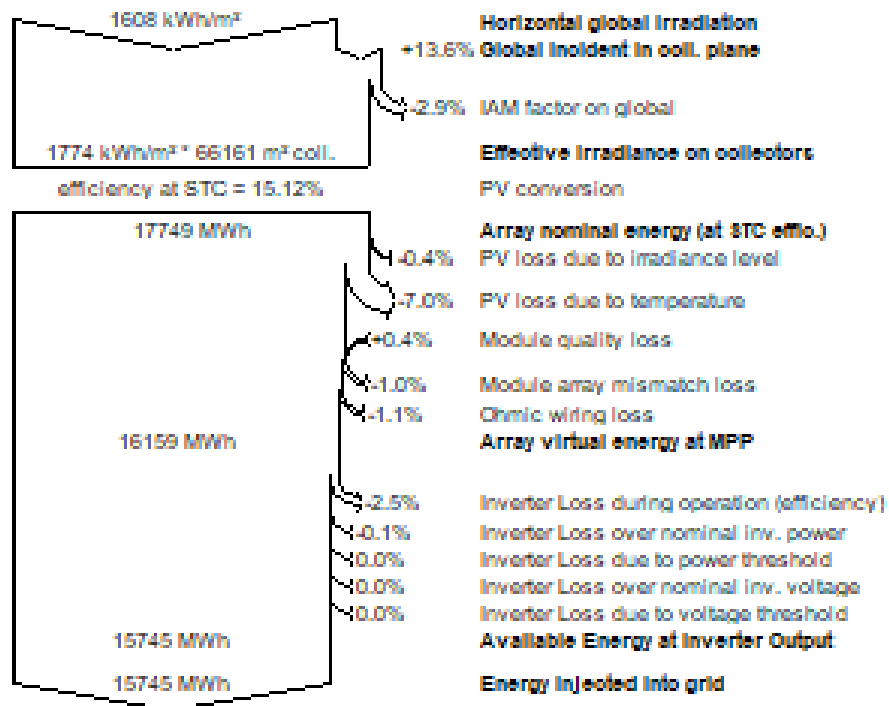
Şekil 4.66 İmranlı monokristal yıllık üretilen enerji



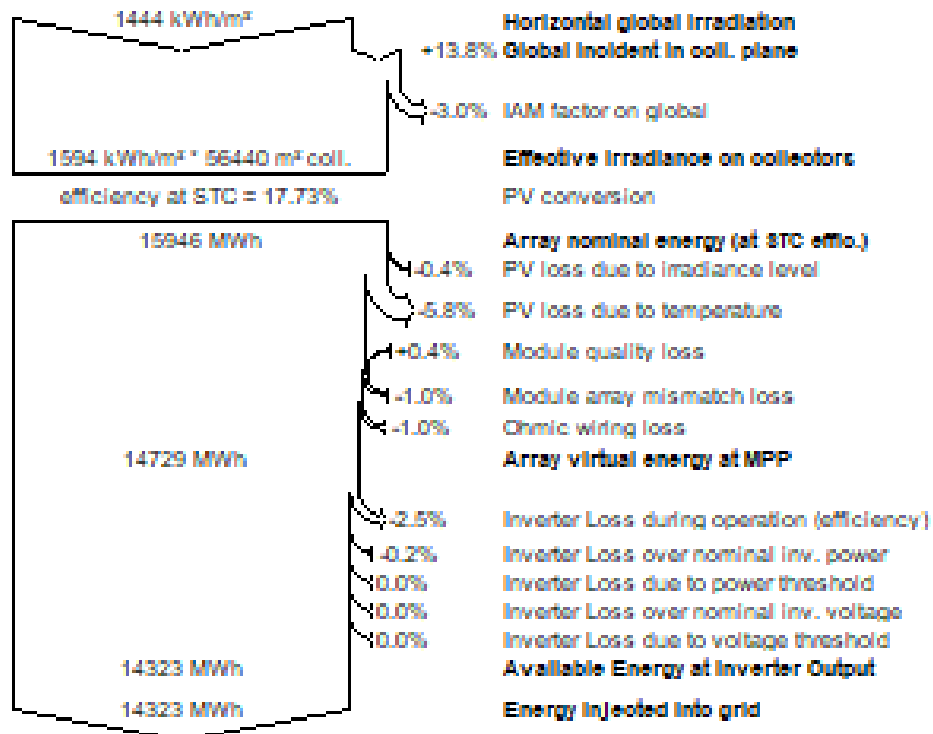
Şekil 4.67 İmranlı polikristal yıllık üretilen enerji



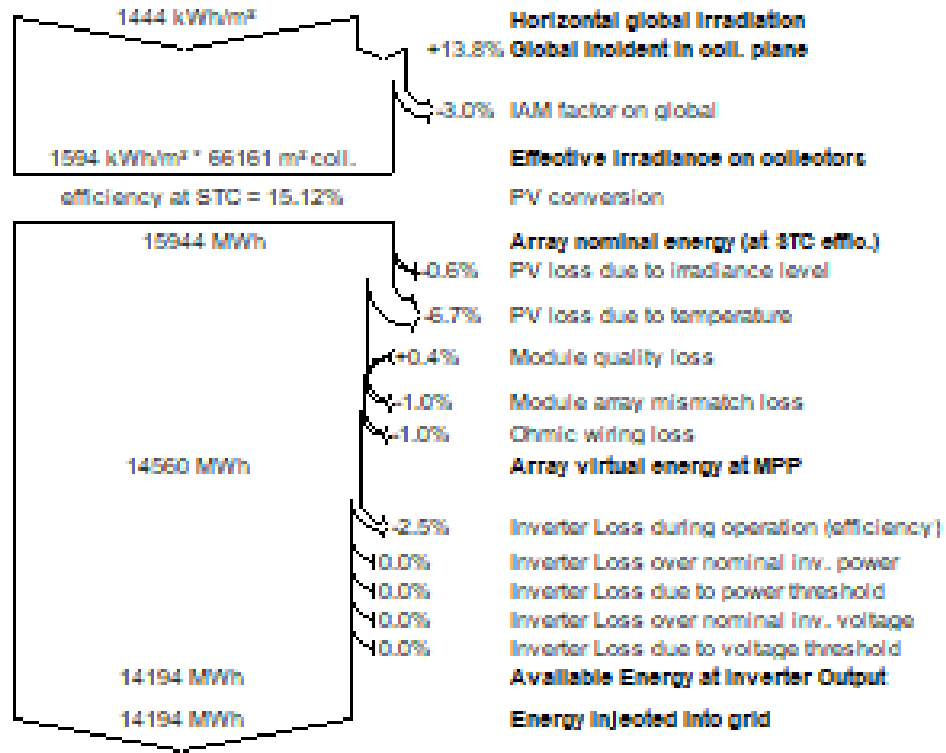
Şekil 4.68 Kangal monokristal yıllık üretilen enerji



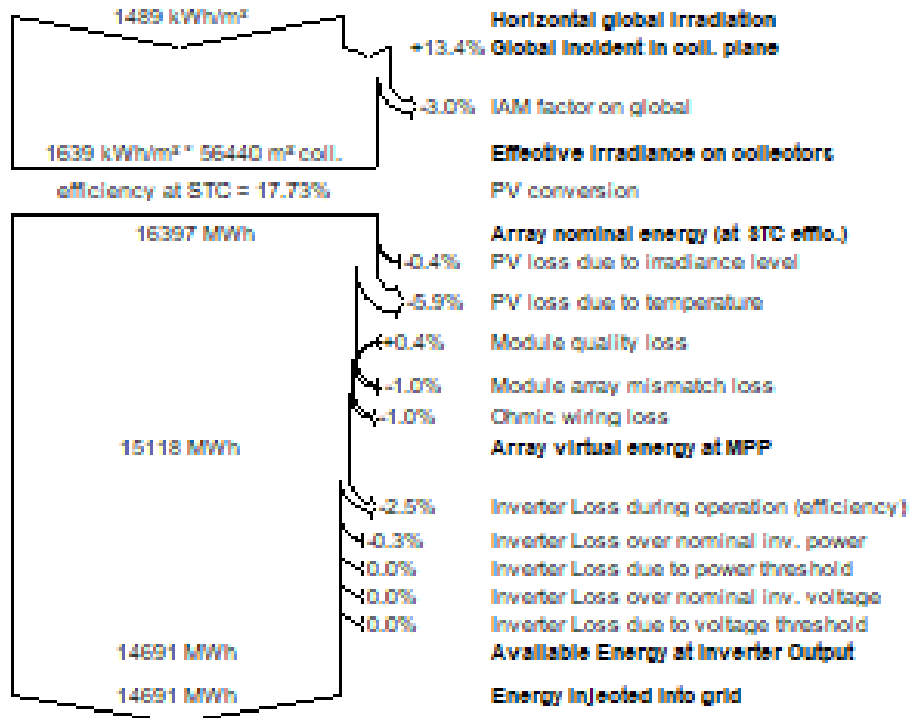
Şekil 4.69 Kangal polikristal yıllık üretilen enerji



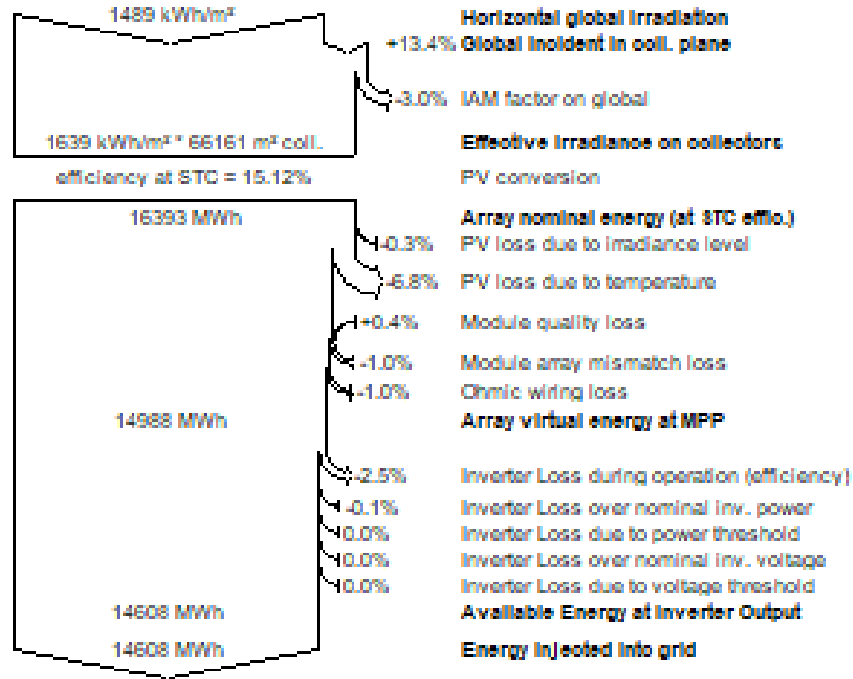
Şekil 4.70 Koyulhisar monokristal yıllık üretilen enerji



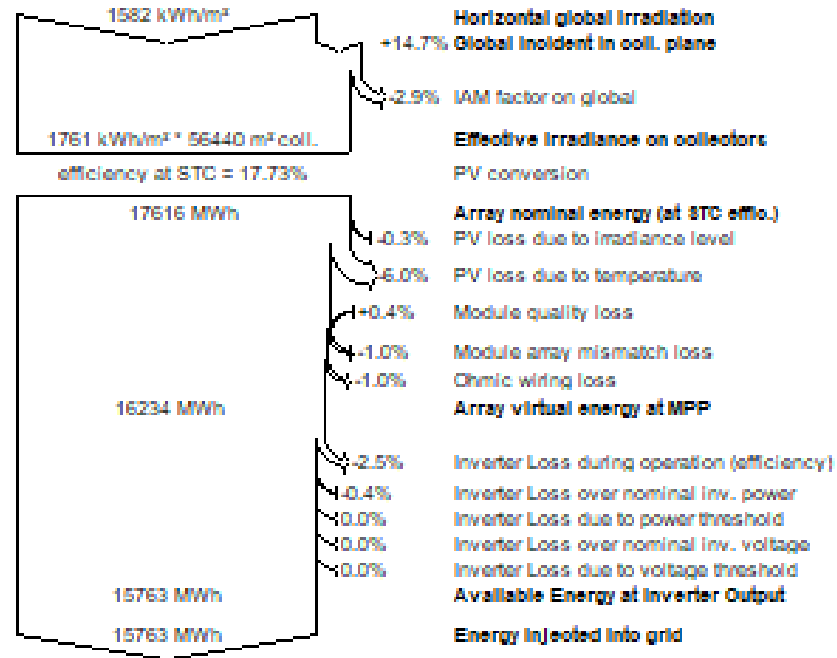
Şekil 4.71 Koyulhisar polikristal yıllık üretilen enerji



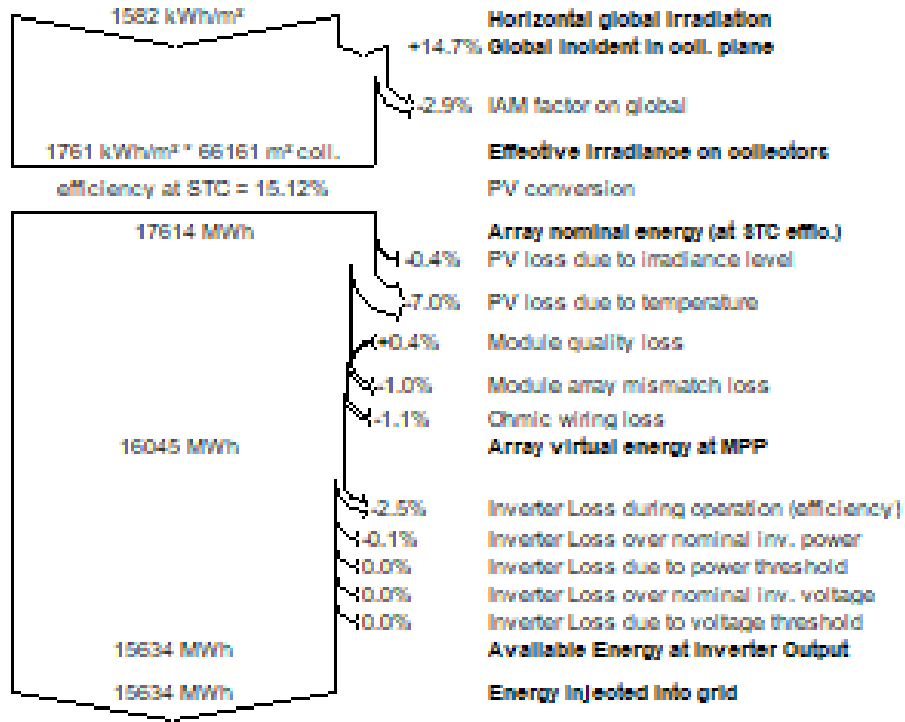
Şekil 4.72 Suşehri monokristal yıllık üretilen enerji



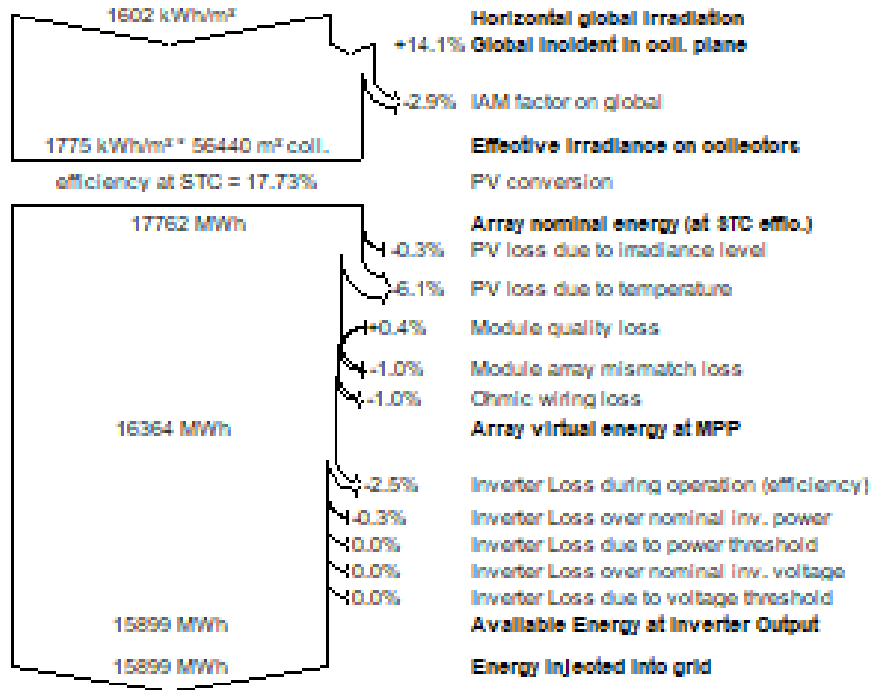
Şekil 4.73 Süşehri polikristal yıllık üretilen enerji



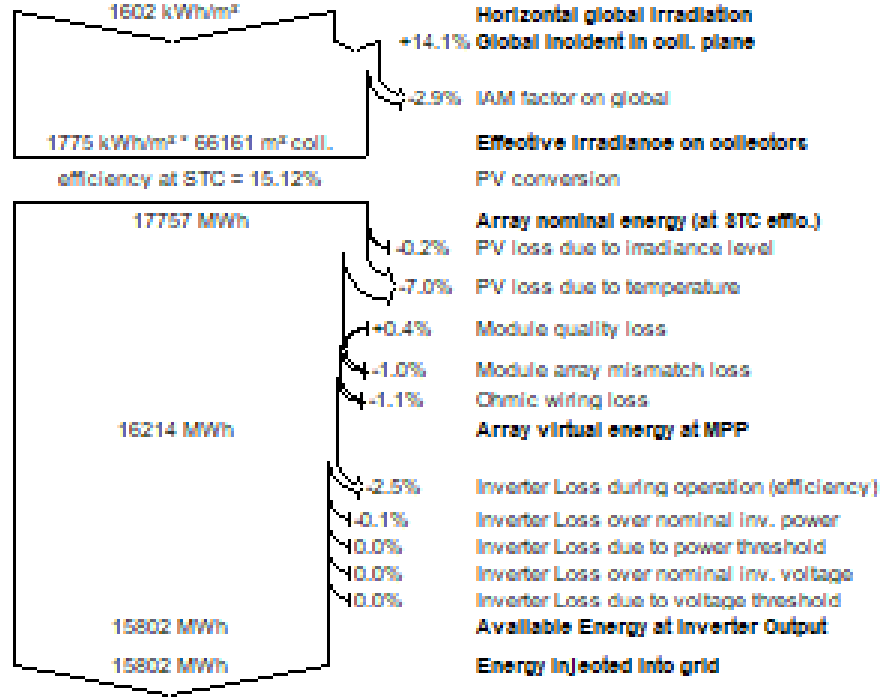
Şekil 4.74 Şarkışla monokristal yıllık üretilen enerji



Şekil 4.75 Şarkışla polikristal yıllık üretilen enerji

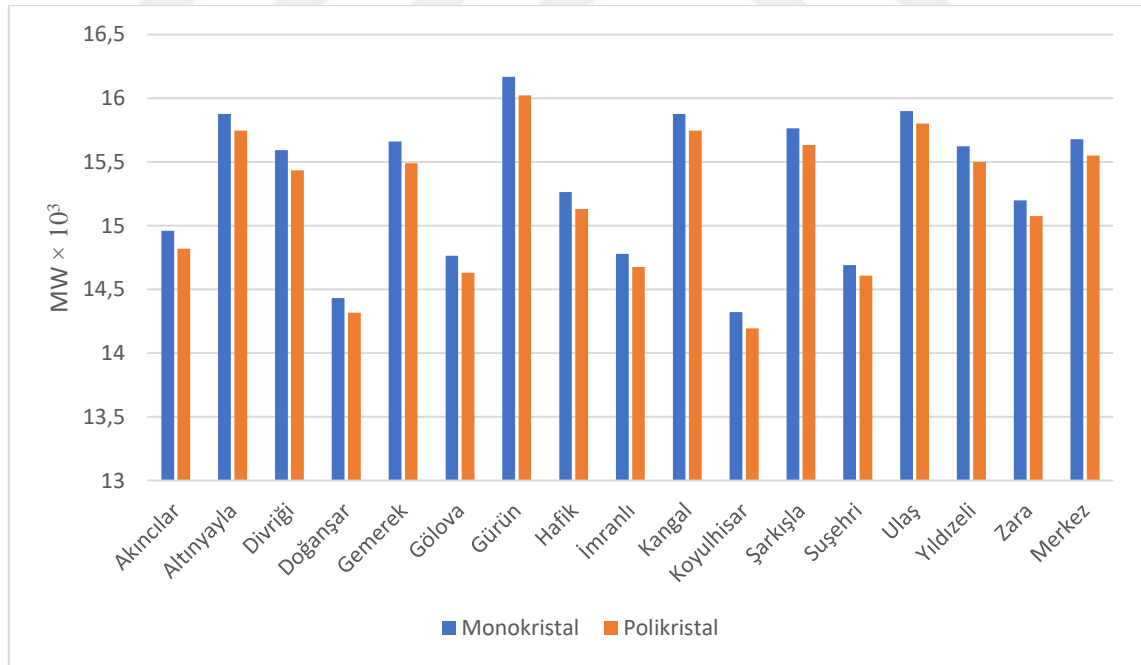


Şekil 4.76 Ulaş monokristal yıllık üretilen enerji



Şekil 4.77 Ulaş polikristal yıllık üretilen enerji

Şekil 4.78' de Sivas ilinin 17 ilçesindeki yıllık enerji üretimi görülmektedir.



Şekil 4.78 İlçelerin yıllık enerji üretimi

5. SONUÇLAR

Dünya, bütün canlı hayatını tehdit etmekte olan iklim değişikliği ile karşı karşıyadır. Fosil kaynak tüketiminin büyük bir paya sahip olduğu sera gazı emisyonları, iklim değişikliğinin ana sebebini oluşturmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları rağbet görmeye başlamış ve kimi ülkelerde fosil kaynaklardan üretilen enerji eldesinin üzerine çıkmıştır. Ülkemizde ise bir atılım olsada henüz istenilen seviyelere ulaşamamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimimiz büyük bir çoğunluğu fosil kaynaklardan sağlanan enerji eldesini dolayısıyla da dışa bağımlılığımızı azaltacaktır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artması için teşvikler bulunmaktadır.

Bu tez kapsamında yenilenebilir enerjinin tarihten günümüze kullanımını hakkında bilgiler verilmiş ve ışık etkisiyle elektrik enerjisi sağlayan fotovoltaik hücrelerin temelleri ve sistem içerisindeki çalışma prensiplerine değinilmiştir. Sivas ilinin ülke normallerinde olan toplam global radyasyon değeri ve oldukça iyi güneşlenme süresi göz önünde bulundurularak Sivas ilinin merkez ve diğer ilçelerinde kurulacak bir güneş enerji santralinin ekonomik fizibilite çalışması irdelenmiştir.

PVsyst programı, finans kuruluşlarının sonuçlarına kredi verdiği bir programdır. Simulasyon sonuçları için bu program tercih edilmiş olup belirlenen 5 ilçede monokristal ve polikristal olmak üzere 2 farklı tip güneş panelinin ekonomik fizibilite çalışması incelenmiştir. Ayrıca diğer ilçelerinde de yıllık üretilen enerji miktarı incelenmiştir.

Güneş enerjisi sistemi sabit eğik sistem olarak tasarlanmış olup bunun için panellerin eğim açısı hesaplanmıştır. Eğer paneller sadece kış uygulamaları için düşünülüyorsa panellerin daha dik olması güneşten daha fazla yararlanılmasını sağlayacak hem de yağıştan fazla etkilenmeyecektir. Sadece yaz uygulamaları için ise panellerin daha eğimli olması güneşten daha fazla yararlanılmasını sağlayacaktır. Tasarlanan sistem yıl boyu kullanılacağından dolayı gerekli hesaplamalar yapılmış ve panel eğim açısı 35.46° olarak hesaplanmıştır.

Güneş enerjisi sistemlerinde en önemli konulardan birisi de gölgelenmelerdir. Panellerin çok küçük bir kısmı gölgelenme altında olsa da panel verimi çok yüksek oranda etkilenmektedir. Panellerin birbirine üzerindeki gölgelenmelerini minimize

etmek için paneller arası mesafeyi çok iyi ayarlamak gerekmektedir. Yapılan çalışmada 21 Haziran ve 21 Aralık solstisleri, 21 Mart ve 23 Eylül ekinokslarına göre panellerin gölge boyu yorumlanmıştır. 21 Haziranda güneş açıları en dik şekilde gelmekte ve gölge boyu küçülmektedir. 21 Aralıkta ise güneşten gelen ışınlar en dar açı ile gelmektedir. Paneller yerleştirilirken 21 Aralıkta gölge boyunun en uzun olduğu zamana göre yerleştirilmeli ve paneller arası mesafe minimum 4,915 metre olmalıdır.

Yapılan ilk ekonomik fizibilite çalışması merkez ilçede kurulu gücü 10 MW olan monokristal paneller kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1573 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %14.8' i kollektör düzlemine gelmekte, %2.9' u açı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %17.73 olan panellerin dizi nominal enerjisi 17526 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyumsuzluk kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 15678 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Merkez ilçede yapılan diğer ekonomik fizibilite çalışması ise kurulu gücü 9,999 MW olan polikristal paneller ile gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı 1573 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %14.8' i kollektör düzlemine gelmekte ve %2.9' u açı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %15.12 olan panellerin dizi nominal enerjisi 17525 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyumsuzluk kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık şebekeye 15549 MWh enerjiyi vermektedir.

Merkez ilçede gerçekleştirilen çalışmalarda güneş enerjisi santralleri enerji satışından sağladığı getiri ile yıllık kredi ödemesini ve işletme giderlerini karşılamakta ayrıca ek bir getiri sunmaktadır. İlk 8 yıl boyunca monokristal panellerden ortalama 70.125\$ ek getiri ve polikristal panellerden 108.000\$ ek getiri sağlanmaktadır.

Divriği ilçesinde ilk olarak monokristal panel kullanılarak 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1569 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %15.1' i kollektör düzlemine gelmekte, %2.9' u açı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %17.73 olan panellerin dizi nominal enerjisi 17548 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa

bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyuşmazlık kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 15593 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Divriği ilçesindeki diğer çalışmada polikristal panel kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinin ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1569 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %15.1' i kollektör düzlemine gelmekte, %2.9' u açılı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %15.12 olan panellerin dizi nominal enerjisi 17545 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyuşmazlık kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 15434 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Divriği ilçesinde gerçekleştirilen çalışmalarda sistemler 8 yıl boyunca kredi ve işletme giderlerini ödedikten sonra ek bir getiri sunmaktadır. Arazi fiyatının düşük olması sebebiyle ilk 8 yıl boyunca getirisi monokristal paneller için ortalama 281.000\$ polikristal paneller için ise 315.500\$ civarındadır.

Gürün ilçesinde ilk olarak monokristal panel kullanılarak 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinin ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1649 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %13.8' i kollektör düzlemine gelmekte, %2.9' u açılı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %17.73 olan panellerin dizi nominal enerjisi 18238 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyuşmazlık kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 16167 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Gürün ilçesindeki diğer çalışmada polikristal panel kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinin ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1649 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %13.8' i kollektör düzlemine gelmekte, %2.9' u açılı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %15.12 olan panellerin dizi nominal enerjisi 18235 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyuşmazlık kaybı,

kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 16023 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Gürün ilçesinde gerçekleştirilen çalışmalarda sistem 8 yıl boyunca kredi ve işletme giderlerini ödedikten sonra ek bir getiri sunmaktadır. Monokristal panellerle yapılan çalışmalarda ilk 8 yıl boyunca işletme ve kredi ödemelerini gerçekleştirdikten sonra güneş enerjisi santrali yıllık ortalama 64.500\$ yıllık ek getiri sunmakta, polikristal panellerle yapılan çalışmada ise kredi ve işletme giderlerini ödedikten sonra ilk 8 yılda yıllık ortalama 100.500 \$ ek getiri sağlamaktadır.

Yıldızeli ilçesinde ilk olarak monokristal panel kullanılarak 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinin ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1561 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %15.1' i kollektör düzlemine gelmekte, %3' ü açılı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %17.73 olan panellerin dizi nominal enerjisi 17446 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyumsuzluk kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 15624 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Yıldızeli ilçesindeki diğer çalışmada polikristal panel kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinin ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1561 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %15.1' i kollektör düzlemine gelmekte, %3' ü açılı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %15.12 olan panellerin dizi nominal enerjisi 17444 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyumsuzluk kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 15499 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Yıldızeli ilçesinde gerçekleştirilen çalışmalarda sistem 8 yıl boyunca kredi ve işletme giderlerini ödedikten sonra ek bir getiri sunmaktadır. Monokristal panellerle yapılan çalışmalarda ilk 8 yıl boyunca işletme ve kredi ödemelerini ödedikten sonra güneş enerjisi santrali yıllık ortalama 273.000\$ yıllık ek getiri sunmakta, polikristal panellerle yapılan çalışmada ise kredi ve işletme giderlerini ödedikten sonra ilk 8 yılda yıllık ortalama 311.375 \$ ek getiri sağlamaktadır.

Zara ilçesinde ilk olarak monokristal panel kullanılarak 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1518 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %15.5' i kollektör düzlemine gelmekte, %2.9' u açılı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %17.73 olan panellerin dizi nominal enerjisi 17021 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyumsuzluk kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 15199 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Zara ilçesindeki diğer çalışmada polikristal panel kullanılarak 9,999 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulum yapılacak arazinin global radyasyon miktarı yıllık 1518 kWh/m²' dir. Global radyasyon miktarının %15.5' i kollektör düzlemine gelmekte, %2.9' u açılı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. STK' da verimi %15.12 olan panellerin dizi nominal enerjisi 17019 MWh olarak gerçekleşmektedir. Işınım seviyesine bağlı FV kaybı, sıcaklığa bağlı FV kaybı, modül kalite kaybı, modül dizi uyumsuzluk kaybı, kablolama kayıpları ve inverter kayıpları dahil edildiğinde sistem yıllık 15075 MWh enerjiyi şebekeye vermektedir.

Zara ilçesinde monokristal panellerle gerçekleştirilen çalışmada sistem 8 yıl boyunca kredi ve işletme giderlerini ödeyememekte ve yıllık ortalama 184.875 \$ borçlanmaktadır. 8 yıl boyunca toplam borç 1.479.000 \$ olmaktadır. 9.yıl sağlanan getiriyle sistem borçlanmasını tolere etmektedir. Polikristal panellerle gerçekleşen çalışmada sistemden elde edilen getiri ilk 8 yıl kredi ve işletme giderlerini ödeyememekte ve yıllık ortalama 146.000 \$ borçlanmaktadır. 8 yıl boyunca toplam borç 1.168.000 \$ olmaktadır. 9.yıl güneş enerjisi santralinden sağlanan getiri ile önceki 8 yılın borçlanması tolere edilmektedir.

Santral ömrü boyunca, monokristal paneller ile gerçekleştirilen güneş enerjisi santralleri polikristal paneller ile gerçekleştirilen çalışmalara göre kurulumu yansıyan yaklaşık 300.000\$' lık maliyet farkını tolere etmiş ve ek bir getiri sunmuştur. Uzun vadede monokristal panel kullanımı daha fazla getiri sağlamakta, polikristal panel ise ilk yatırım maliyetinin düşüklüğünden dolayı daha erken geri dönüş sağlamaktadır.

Çalışmada ek olarak fizibilite çalışması gerçekleştirilmiş olan monokristal paneller ve polikristal panellerle aynı kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali Sivas'ın tüm ilçeleri için denenmiştir. Şehrin genellikle güney kısımları santral kurulumu için oldukça uygun ışınım miktarına sahiptir. Gürün ilçesi en yüksek global radyasyona maruz kalırken Koyulhisar ilçesi ise en düşük global radyasyona maruz kalmaktadır.

İlçelerde gerçekleştirilen çalışma sonucu Gürün, Kangal, Altınyayla ve Ulaş ilçelerinde polikristal panel kullanılarak elde edilecek yıllık enerji miktarı merkez ilçede monokristal panel kullanılarak elde edilen enerjiden fazla çıkmaktadır. Özellikle Gürün ilçesine monokristal paneller ile gerçekleştirilen çalışmada ise yıllık elektrik üretimi 16000 MW seviyesini geçmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] **Şen, Z.** (2009). Temiz Enerji Kaynakları ve Modelleme İlkeleri. *Su Vakfı Yayınları*, 236s, İstanbul.
- [2] **Beggs, C.** (2009). Energy: Management, Supply and Conservation. *Elsevier Butterworth-Heinemann*, 356p, Amsterdam.
- [3] **Öztürk, H. H.** (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları. *Birsen Yayınevi*, 442s, İstanbul.
- [4] **Traube, K.** (2004). Renewable Energy and Nature Conservation. *Energy & Environment*, 15(4), 625-631. doi: 10.1260/0958305042259765
- [5] **Url-1** <http://www.unesco.org/education/pdf/RIO_E.PDF>, alındığı tarih: 12.01.2019
- [6] **Url-2** <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf>, alındığı tarih: 14.01.2019
- [7] **Url-3** <<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/summary-for-policy-makers/>>, alındığı tarih: 14.01.2019
- [8] **Url-4** < https://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_15/mobile/index.html#p=1>, alındığı tarih: 15.01.2019
- [9] **Url-5** <<http://www.tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=42>>, alındığı tarih: 15.01.2019
- [10] **Taktak, F. and İl, M.** (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik*, 3(1), pp.1-21.
- [11] **Koçak, M. E.** (2018). Büyükçekmece İlçesindeki Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Ekonomik Analizi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 114s, Sakarya.
- [12] **Küçükgoze, O. M.** (2016). Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 91s, Erzincan.
- [13] **Kahraman, M. Ü.** (2018). Kütahya Bölgesi Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyellerinin Tekno-Ekonomik Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 90s, Kütahya.
- [14] **Çolak, Ş. Ç.** (2010). Fotovoltaik Paneller Yardımı ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi ve Gelecekteki Projeksiyonu. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 110s, İstanbul.
- [15] **Keskin, E.** (2012). Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarımı ve Maliyet Analizi. *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 101s, Ankara.

- [16] **Atakul, Ş., Kalender, M. A., Gezici, M., Eliçin, A. K.** (2015). Güneş Tarlası Kurulumu. *Tarım Makinaları Bilimsel Dergisi*, 11(1), pp.55-60.
- [17] **Girgin, M. H.** (2011). Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali için Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 202s, İstanbul.
- [18] **Çekirdek, M.** (2017). Fotovoltaik Güç Santrallerinin Tekno-Ekonomik Analizi: Türkiye Örneği, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 77s, İzmir.
- [19] **Tekkale, G.** (2018). Türkiyenin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Tekniz ve Finansal Analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 137s, İstanbul.
- [20] **Aldudak, M.** (2018). Economic Analysis and Efficiency Evaluation of PV Systems in Different Cities of Turkey. *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 57s, İstanbul.
- [21] **Url-6** <<https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>>, alındığı tarih: 18.01.2019
- [22] **Url-7** <<http://www.samlexsolar.com/learning-center/solar-cell-module-array.aspx>>, alındığı tarih: 22.01.2019
- [23] **Url-8** <https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=solar_photovoltaics>, alındığı tarih: 25.01.2019
- [24] **Stratton, J. A.** (1941). Electromagnetic Theory. *McGraw-Hill Book Company*, 640p, Newyork.
- [25] **Edminster, J. A.** (2000). Schaum Serisinden Elektromanyetik Teori ve Problemlerle. *Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti* (Çeviri : *Aydemir, T., Afacan, E., Nakiboğlu, C.*), 306s, Ankara.
- [26] **Zhurbenko, V.** (2011). Electromagnetic Waves. *Intech*, 510p, Rijeka.
- [27] **Özil, E., Şişbot, S., Özpınar, A., Olgun, B.** (2013). Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği, Cilt 4. *Türkiye Elektrik Sanayi Birliği*, 372s, İstanbul.
- [28] **Url-9** <https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet56/oet56e4.pdf>, alındığı tarih: 2.01.2019
- [29] **Newman, J.** (2008). Physics of the Life Sciences, *Springer Science LLC*, 448p, Newyork.
- [30] **Url-10** <<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>>, alındığı tarih: 4.02.2019
- [31] **Url-11** <<https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/in-depth/>>, alındığı tarih: 5.02.2019

- [32] **Johnson, C.** (2012). *Mathematical Physics of Blackbody Radiation*, *Icarus iDucation*, 192p, Stockholm.
- [33] **Wichmann, E. H.** (2000). *Kuantum Fiziği*, *Bilim Yayinevi*, 466s, Ankara.
- [34] **Chikate, B. V., Sadawarte, Y. A.** The Factors Affecting the Performance of Solar Cell, *International Journal of Computer Applications* (0975-8887)
- [35] **Humada, A., Hojabri, M., Mekhilef, S., & Hamada, H.** (2016). Solar cell Parameters Extraction Based on Single and Double-Diode Models: A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 56, 494-509. doi: 10.1016/j.rser.2015.11.051
- [36] **Dhass, A., Lakshmi, P., & Natarajan, E.** (2016). Investigation of Performance Parameters of Different Photovoltaic Cell Materials Using the Lambert-W Function. *Energy Procedia*, 90, 566-573. doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.225
- [37] **Wolf, M., & Rauschenbach, H.** (1963). Series Resistance Effects on Solar Cell Measurements. *Advanced Energy Conversion*, 3(2), 455-479. doi: 10.1016/0365-1789(63)90063-8
- [38] **Shi, Z., & Jayatissa, A.** (2018). Perovskites-Based Solar Cells: A Review of Recent Progress, Materials and Processing Methods. *Materials*, 11(5), 729. doi: 10.3390/ma11050729
- [39] **Url-12** <http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_electricity/basics/how_pv_system_works.htm>, alındığı tarih: 8.02.2019
- [40] **Url-13** <<https://www.e-education.psu.edu/ae868/node/872>>, alındığı tarih: 9.02.2019
- [41] **Franklin, E.** (2017). Types of Solar Photovoltaic. *The University Of Arizona College Of Agriculture And Life Sciences Cooperative Extension*, 8p, Arizona.
- [42] **Sandia National Laboratories.** (1995). *Stand-Alone Photovoltaic Systems A Handbook of Recommended Design Practices*, 308p, USA.
- [43] **Url-14** <<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>>, alındığı tarih: 12.02.2019
- [44] **Washington State University Extension Energy Program.** (2009). *Solar Energy System Design, Operation and Installation*, 29p, Olympia.
- [45] **Ørbæk, A., Dahl, J. And Amadei, C. (n.d.).** Design of an Off-grid Photovoltaic System. *Technical University Of Denmark*, Kongens Lyngby.
- [46] **Url-15** <<https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=61546&prodName=GT30J341>>, alındığı tarih: 15.02.2019
- [47] **Chapman, S.** (2013). *Elektrik Makinalarının Temelleri. Çağlayan Kitapevi (Çeviri: Akın, E., Orhan, A.)*, 746s, İstanbul.
- [48] **Url-16** <<https://libraries.mit.edu/collections/vail-collection/topics/electricity/the-voltaic-pile/>>, alındığı tarih: 16.02.2019

- [49] **Spitzer, C., R.** (2001). *The Avionics Handbook*. CRC Press, 576p, Boca Raton.
- [50] **Grs-Batterien.** (2007). *The World of Batteries- Function, Systems, Disposal*. Hamburg.
- [51] **Microgeneration Certification Scheme.** (2012). *Guide to the Installation of Photovoltaic Systems*. Great Britain.
- [52] **Url-17** <<https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/1-weather-design-inputs/sun-position/>>, alındığı tarih: 18.02.2019
- [53] **National Renewable Energy Laboratory.** (2008). *Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications*. Colorado.
- [54] **Url-18** <<https://www.britannica.com/science/dynamical-time>>, alındığı tarih: 18.02.2019
- [55] **Gualla, F.** (2015). *Sun Position And Pv Panels: A Model To Determine The Best Orientation*. *Department of Physical Geography and Ecosystem Science* (Master of Science Thesis), 74p, Lund University.
- [56] **Url-19** <<https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/1-weather-design-inputs/irradiance-and-insolation-2/>>, alındığı tarih: 25.02.2019
- [57] **National Renewable Energy Laboratory.** (2012). *Influence of Atmospheric Variations on Photovoltaic Performance and Modeling Their Effects for Days with Clear Skies*, IEEE Photovoltaic Specialists Conference, June 3–8, Austin-Texas
- [58] **Url-20**<<https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/atmospheric-effects>>, alındığı tarih: 26.02.2019
- [59] **National Renewable Energy Laboratory.** (2017). *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications: Second Edition*.
- [60] **Chaudhary, A., Gupta, S., Pande, D., & Mahfooz, F.** (2015). *Effect of Partial Shading on Characteristics of PV Panel Using Simscape*. *International Journal Of Engineering Research And Applications*, 5(10), 86.
- [61] **Ekpenyong, E., & Anyasi, F. I.** (2013). *Effect of Shading on Photovoltaic Cell*. *IOSR Journal Of Electrical And Electronics Engineering*, 8(2), 01-06. doi: 10.9790/1676-0820106
- [62] **Hansen, A. D., Sørensen, P. E., Hansen, L. H., & Bindner, H. W.** (2001). *Models For A Stand-Alone PV System*. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R, No. 1219(EN)
- [63] **Sayed, L., Hasanujjaman, M., & Jaman, M.** (2018). *Performance Analysis of a Grid-Tied Solar PV System*. *East West University Department of Electrical and Electronic Engineering Faculty of Sciences and Engineering* (B.Sc), 60p, Dhaka.
- [64] **Treado, S.** (2015). *The Effect of Electric Load Profiles on the Performance of Off-Grid Residential Hybrid Renewable Energy Systems*. *Energies*, 8(10), 11120-11138. doi: 10.3390/en81011120

- [65] **Zafarani, R., Eftekharnejad, S., Patel, U.** (2018). Assessing the Utility of Weather Data for Photovoltaic Power Prediction, *Department of Electrical Engineering and Computer Science Syracuse University, Newyork.*
- [66] **The World Bank Development Research Group Environment and Energy Team.** (2011). *A Review of Solar Energy: Markets, Economics and Policies.*
- [67] **International Energy Agency.** (2018). Snapshot of Global Photovoltaic Markets
- [68] **Dubey, S., Jadhav, N., & Zakirova, B.** (2013). Socio-Economic and Environmental Impacts of Silicon Based Photovoltaic (PV) Technologies. *Energy Procedia, 33*, 322-334. doi: 10.1016/j.egypro.2013.05.073
- [69] **Url-21** <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/turkey>>, alındığı tarih: 29.02.2019
- [70] **Url-22** <<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>>, alındığı tarih: 29.02.2019
- [71] **Messenger, R., Ventre, J.** (2000), Photo-voltaic Systems Engineering, *CRC Pres LLC, Florida*, 385p.
- [72] **Url-23** < http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yap%C4%B1larda%20G%C3%BCne%C5%9F%20Panel%20Sisteminin%20Kurulumas%C4%B1.pdf>, alındığı tarih: 12.03.2019
- [73] **Url-24** <<http://files.pvsyst.com/help/albedo.htm>>, alındığı tarih: 5.03.2019
- [74] **Url-25** <<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/58.aspx>>, alındığı tarih: 6.05.2019



EKLER

Güneş Panelleri ve İvertör



Ek-1
Canadian Solar Güneş Paneli

MaxPower CS6X

285/290/295/300/305P



MaxPower CS6X is a robust solar module with 72 solar cells. These modules can be used for on-grid solar applications. Our meticulous design and production techniques ensure a high-yield, long-term performance for every module produced. Our rigorous quality control and in-house testing facilities guarantee Canadian Solar's modules meet the highest quality standards possible.

Best Quality

- 235 quality control points in module production
- EL screening to eliminate product defects
- Current binning to improve system performance
- Accredited Salt mist/Ammonia resistance
- High PID Resistance

Best Warranty Insurance

- 25 years worldwide coverage
- 100% warranty term coverage
- Providing third party bankruptcy rights
- Non-cancellable
- Immediate coverage
- Insured by 3 world top insurance companies

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 1703, IEC61701 ED2, IEC 62716, KEMCO, CEC Listed, CE, MCS
- ISO9001: 2008: Quality Management System
- ISO/TS16949:2009: The automotive quality management system
- ISO14001:2004: Standards for Environmental management system
- QC080000 HSPM: The Certification for Hazardous Substances Regulations
- OHSAS 18001:2007: International standards for occupational health and safety

Key Features

- High module efficiency up to 15.90%
- Positive power tolerance: 0 ~ +5W
- Robust frame to up to 5400 Pa load
- Self-cleaning surface
- Outstanding performance at low irradiance
- High energy yield at Low NOCT
- Backed By Our New 10/25 Linear Power Warranty Plus our added 25 year insurance coverage



- 10 year product warranty on materials and workmanship
- 25 year linear power output warranty



www.canadiansolar.com

CS6X-285/290/295/300/305P MaxPower

Electrical Data

STC	CS6X-285P	CS6X-290P	CS6X-295P	CS6X-300P	CS6X-305P
Nominal Maximum Power (Pmax)	285W	290W	295W	300W	305W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	35.8V	35.9V	36.0V	36.1V	36.3V
Optimum Operating Current (Imp)	7.96A	8.08A	8.19A	8.30A	8.41A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.3V	44.4V	44.5V	44.6V	44.8V
Short Circuit Current (Isc)	8.53A	8.64A	8.76A	8.87A	8.97A
Module Efficiency	14.85%	15.11%	15.37%	15.63%	15.90%
Operating Temperature	-40°C~+85°C				
Maximum System Voltage	1000V (IEC) /600V (UL)				
Maximum Series Fuse Rating	15A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ +5W				

Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C

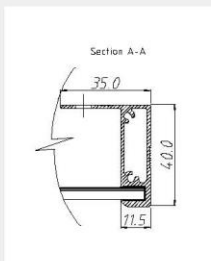
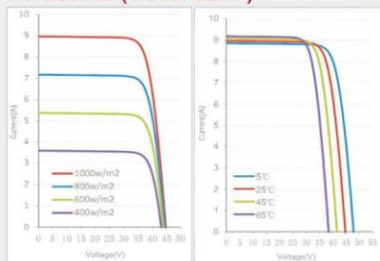
NOCT	CS6X-285P	CS6X-290P	CS6X-295P	CS6X-300P	CS6X-305P
Nominal Maximum Power (Pmax)	207W	210W	214W	218W	221W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	32.7V	32.7V	32.8V	32.9V	33.1V
Optimum Operating Current (Imp)	6.33A	6.42A	6.51A	6.61A	6.68A
Open Circuit Voltage (Voc)	40.7V	40.8V	40.9V	41.0V	41.2V
Short Circuit Current (Isc)	6.91A	7.00A	7.10A	7.19A	7.27A

Under Normal Operating Cell Temperature, irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

Mechanical Data

Cell Type	Poly-crystalline 156 x 156mm, 3 or 4 Busbars
Cell Arrangement	72 (6 x 12)
Dimensions	1954 x 982 x 40mm (76.93 x 38.7 x 1.57in)
Weight	23kg (50.7 lbs)
Front Cover	3.2mm Tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP65 or IP67, 3 diodes
Cable	4mm ² (IEC) /12AWG (UL), 1150mm
Connectors	MC4 or MC4 Comparable
Standard Packaging (Modules per Pallet)	24pcs
Module Pieces per container (40 ft. Container)	528pcs (40'HQ)

I-V Curves (CS6X-305P)



*Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice.

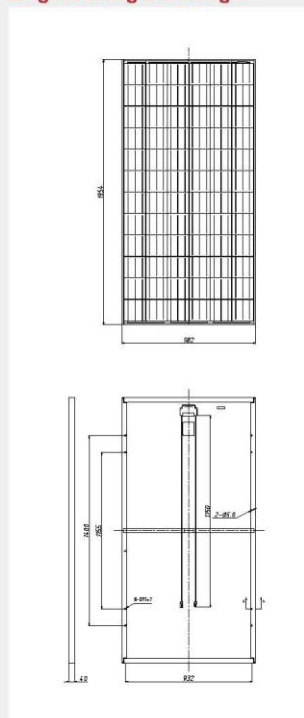
Temperature Characteristics

Temperature Coefficient	Pmax	-0.43%/°C
	Voc	-0.34%/°C
	Isc	0.085%/°C
Normal Operating Cell Temperature	45±2°C	

Performance at Low Irradiance

Industry leading performance at low irradiation environment, +95.5% module efficiency from an irradiance of 1000w/m² to 200w/m² (AM 1.5, 25 °C)

Engineering Drawings

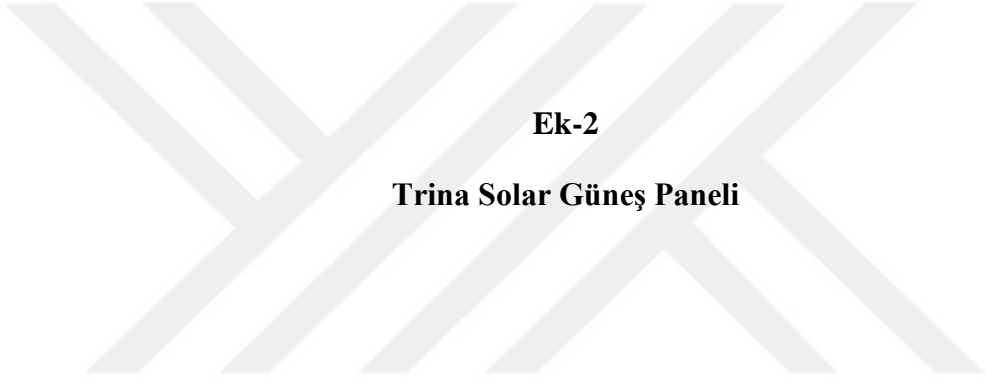


About Canadian Solar

Canadian Solar Inc. is one of the world's largest solar companies. As a leading vertically-integrated manufacturer of ingots, wafers, cells, solar modules and solar systems, Canadian Solar delivers solar power products of uncompromising quality to worldwide customers. Canadian Solar's world class team of professionals works closely with our customers to provide them with solutions for all their solar needs.

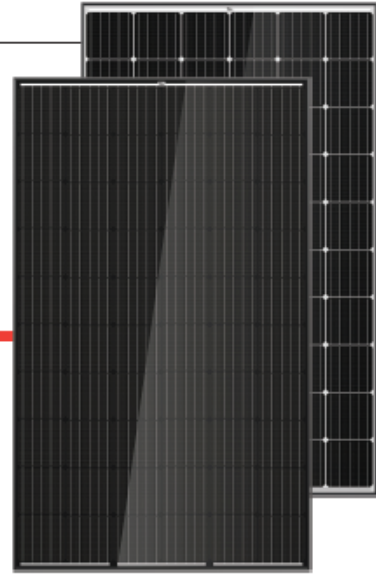
Canadian Solar was founded in Canada in 2001 and was successfully listed on NASDAQ Exchange (symbol: CSIQ) in November 2006. Canadian Solar has cell manufacturing capacity of 1.5GW and module manufacturing capacity of 2.3GW.

Headquarters | 545 Speedvale Avenue West
Guelph | Ontario N1K 1E6 | Canada
Tel: +1 519 837 1881
Fax: +1 519 837 2550
inquire.ca@canadiansolar.com
www.canadiansolar.com



Ek-2
Trina Solar Güneş Paneli

THE
ALLMAX^M plus[†]
 FRAMED 60-CELL MODULE



60 CELL
 MONOCRYSTALLINE MODULE

275-315W
 POWER OUTPUT RANGE

19.2%
 MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
 POSITIVE POWER TOLERANCE

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading comprehensive solutions provider for solar energy. We believe close cooperation with our partners is critical to success. Trina Solar now distributes its PV products to over 60 countries all over the world. Trina is able to provide exceptional service to each customer in each market and supplement our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable partner. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaboration with installers, developers, distributors and other partners.

**Comprehensive Products
 And System Certificates**

IEC61215/IEC61730/VLL1703/IEC61701/IEC62716
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO14064: Greenhouse gas Emissions Verification
 OHSAS 18001: Occupation Health and Safety Management System



Maximize limited space with top-end efficiency

- Up to 192W/m² power density
- Low thermal coefficients for greater energy production at high operating temperatures



Highly reliable due to stringent quality control

- Over 30 in-house tests (UV, TC, HF, and many more)
- In-house testing goes well beyond certification requirements
- PID resistant
- 100% EL double inspection
- Selective emitter, advanced surface texturing

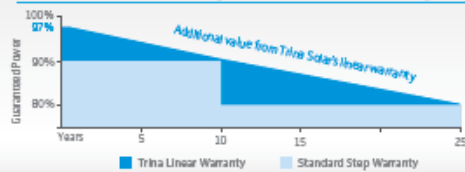


Certified to withstand the most challenging environmental conditions

- 2400 Pa wind load
- 5400 Pa snow load
- 35 mm hail stones at 97 km/h

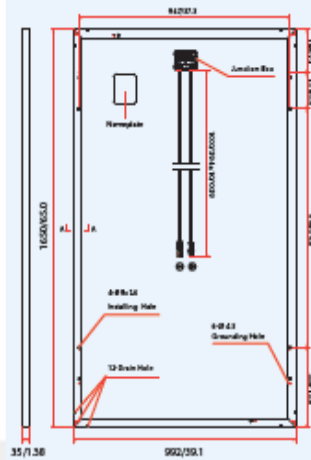
LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty - 25 Year Linear Power Warranty

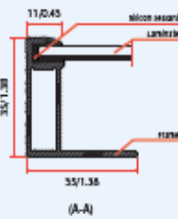


PRODUCTS	POWER RANGE
TSM-DD05A.08(II)	280-315W
TSM-DD05A.05(II)	275-310W

DIMENSIONS OF PV MODULE (mm/Inches)

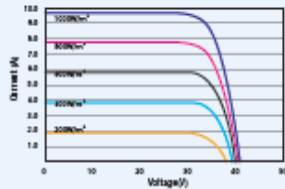


Back View

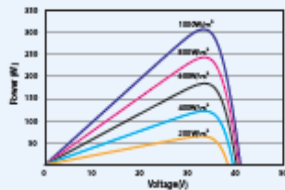


(A-A)

I-V CURVES OF PV MODULE(305W)



P-W CURVES OF PV MODULE(305W)



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts-P _{max} (W _p)*	275	280	285	290	295	300	305	310	315
Power Output Tolerance-P _{max} (W)	0 ~ +5								
Maximum Power Voltage-V _{mp} (V)	31.4	31.7	31.8	32.2	32.5	32.6	32.9	33.1	33.3
Maximum Power Current-I _{mp} (A)	8.76	8.84	8.97	9.01	9.08	9.19	9.28	9.37	9.46
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	38.4	38.4	38.5	38.9	39.6	39.8	40.0	40.2	40.5
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	9.24	9.42	9.51	9.66	9.68	9.77	9.85	9.94	10.0
Module Efficiency η _m (%)	16.8	17.1	17.4	17.7	18.0	18.3	18.6	18.9	19.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: ±3%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power-P _{max} (W _p)	205	209	212	216	220	223	227	231	235
Maximum Power Voltage-V _{mp} (V)	29.1	29.4	29.5	29.9	30.1	30.2	30.5	30.7	30.9
Maximum Power Current-I _{mp} (A)	7.04	7.10	7.21	7.24	7.30	7.38	7.46	7.53	7.60
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	35.7	35.7	35.8	36.2	36.8	37.0	37.2	37.4	37.6
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	7.46	7.61	7.68	7.80	7.82	7.89	7.95	8.03	8.10

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline 156.75 × 156.75 mm (6 inches)
Cell Orientation	60 cells (6 × 10)
Module Dimensions	1650 × 992 × 35 mm (65.0 × 39.1 × 1.38 inches)
Weight	18.6 kg (41.0 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Tempered Glass
Backsheet	White [DD05A.08(II)]; Black [DD05A.05(II)]
Frame	Black Anodized Aluminium Alloy [DD05A.08(II), DD05A.05(II)]
J-Box	IP 67 or IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), 1000 mm (39.4 inches)
Connector	MC4
Fire Type	Type 1 or Type 2

TEMPERATURE RATINGS

NOCT(Nominal Operating Cell Temperature)	44°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.39%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	0.05%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC (IEC) 1000V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	15A (Power ≤ 285W) 20A (Power ≤ 290W)

(DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

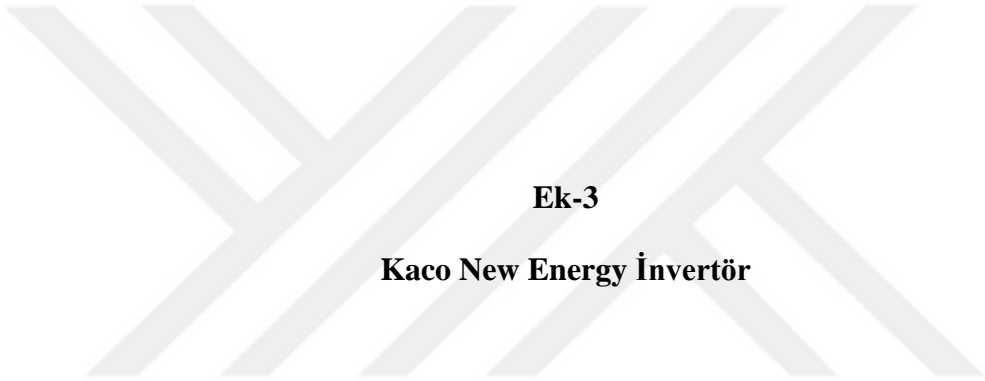
WARRANTY

- 10 year Product Workmanship Warranty
- 25 year Linear Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

- Modules per box: 30 pieces
- Modules per 40 container: 840 pieces



Ek-3

Kaco New Energy Invertör

Technical data

Powador 48.0 TL3 Park | 72.0 TL3 Park

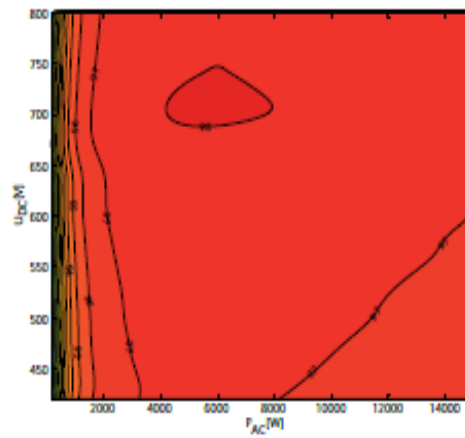
Electrical data	48.0 TL3 Park	72.0 TL3 Park
Input variables		
MPP range	200 V ... 800 V*	200 V ... 850 V**
Starting voltage	250 V	250 V
No-load voltage	1000 V	1000 V
Max. input current	3x34.0 A	3x36.0 A
Number of MPP trackers	3	3
Max. power/tracker	20 kW	24 kW
Number of strings	3x1 based on design M 3x4 based on design XL	3x1 based on design M 3x5 based on design XL 3x4 based on design XL-F
Output variables		
Rated output (@ 277 V)	40000 VA	60000 VA
Line voltage	480 V / 277 V (3 / N / PE)	480 V / 277 V (3 / N / PE)
Rated current	3x48.1 A	3x72.2 A
Rated frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
cos phi	0.80 inductive ... 0.80 capacitive	0.80 inductive ... 0.80 capacitive
Number of grid phases	3	3
General electrical data		
Max. efficiency	98.0 %	98.0 %
European efficiency	97.9 %	97.8 %
Night consumption	1.5 W	1.5 W
Switching plan	transformerless	transformerless
Grid monitoring	acc. to local requirements	acc. to local requirements
Mechanical data		
Display	graphical display + LEDs	graphical display + LEDs
Control units	4-way navigation + 2 buttons	4-way navigation + 2 buttons
Interfaces	Ethernet, USB, RS485, 50 output, digital input "inverter off"	Ethernet, USB, RS485, 50 output, digital input "inverter off"
Fault signalling relay	potential-free NOC max. 230 V / 1 A	potential-free NOC max. 230 V / 1 A
Connections	AC connection via screw terminals, bushing, 1 x M50, max cross section: 50 mm ² (flexible); DC connection of M version: spring-type terminals 6-35 mm ² ***; DC connection of XL version: screw and spring-type terminals 10 mm ² , bushing 48.0 TL3 Park 6 x M32 / 72.0 TL3 Park 6 x M40	
Ambient temperature	-20 °C ... +60 °C****	-20 °C ... +60 °C****
Cooling	fan, max. 600 m ³ / h	fan, max. 600 m ³ / h
Protection class	IP54	IP54
Noise emission	58 dB (A) (only fan noise)	58 dB (A) (only fan noise)
DC switch	integrated	integrated
H x W x D	1360 x 840 x 355 mm	1360 x 840 x 355 mm
Weight	151 kg	173 kg
Product variants		
Version M	DC switch	
Version XL	DC switch / fuse protection DC input plus / overvoltage protection type 2	
Version XL-SPD 1+2	DC switch / fuse protection DC input plus / overvoltage protection type 1 + 2	
Version XL-F	DC switch / fuse protection DC input plus and minus / overvoltage protection type 2	
Version XL-F-SPD1+2	DC switch / fuse protection DC input plus and minus / overvoltage protection type 1 + 2	

* The possible input power is reduced at voltages lower than 410 V. The input current is limited to 34.0 A per input. ** The possible input power is reduced at voltages lower than 580 V. The input current is limited to 36.0 A per input. *** Only in conjunction with external Powador Mini-Aegus **** Power derating at high ambient temperatures
Conforms to the country-specific standards and regulations according to the country version that has been set.



Graphical Display of efficiency

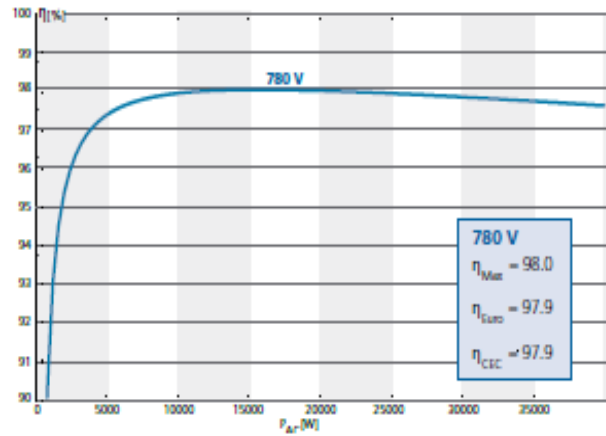
3D efficiency diagram for Powador 48.0 TL3 Park



Powador 48.0 TL3 Park | 72.0 TL3 Park

- 98.0 % efficiency
- 3 MPP trackers, symmetrical and asymmetrical loading possible
- Multilingual menu
- Cost-saving DC input configuration available
- Integrated web server
- USB connection for updates

Efficiency characteristic curve for Powador 48.0 TL3 Park





ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Fatih Yavuz Özyiğit
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 28.11.1993
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Mevlana Mah. 18. Sok. Osmanlı apt. no: 1 Sivas
E-posta Adresi	yavuz.ozygt@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Selçuk Anadolu Lisesi, 2011
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2016
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019