

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PV SİSTEMLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ, ENERJİ VE
EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKHAN EKİNCİ

DENİZLİ, TEMMUZ - 2019

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**PV SİSTEMLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ, ENERJİ VE
EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKHAN EKİNCİ

DENİZLİ, TEMMUZ - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Gökhan EKİNCİ tarafından hazırlanan “**PV SİSTEMLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ, ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 12.07.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK
Pamukkale Üniversitesi

Üye
Prof.Dr.Ö.Altan DOMBAYCI
Pamukkale Üniversitesi

Üye
Doç.Dr.Hakan ÇALIŞKAN
Uşak Üniversitesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24/07/2019 tarih ve ...30/11... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Uğur YÜCEL ✓.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



GÖKHAN EKİNCİ

İMZA

ÖZET

PV SİSTEMLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ, ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKHAN EKİNCİ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK)

DENİZLİ, TEMMUZ - 2019

Bu çalışmada kristal silikon güneş panelleri ile ince-film güneş panellerinin üretim prosesi adım adım incelenmiş sisteme olan madde girişi ve madde çıkışlarıyla yaşam döngüsü analizleri incelenmiştir. Daha sonra literatürdeki verilerle yaşam döngüsü analizlerinin sonuçları gösterilmiştir. Ardından 3 farklı güneş hücresi olan; monokristal, polikristal ve ince film maddelerden oluşturulan güneş paneli sistemlerinin önce enerji ve ekserji analizleri Denizli ilinde iki ayrı sistemde incelenmiştir. Buna ek olarak Denizli ilinde yapılan birinci sisteme göre Erzurum ve Konya ilinde de enerji ve ekserji analizleri yapılmış olup elde edilen sonuçlarla enerji ve ekserji verimliliği bakımından incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Enerji, Ekserji, Yaşam Döngüsü Analizi, Güneş Paneli, Geri ödeme süresi, Gaz salınımı

ABSTRACT

LIFE CYCLE ANALYSIS, ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF PV SYSTEMS

MSC THESIS

GÖKHAN EKİNCİ

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:PROF.DR HARUN KEMAL ÖZTÜRK)

DENİZLİ, JULY 2019

In this study, the production process of crystalline silicon solar panels and thin-film solar panels is investigated step by step, and the life cycle analysis of material input and material outputs to the system is examined. Then, the results of the life cycle analyzes are shown with the data in the literature. Then there are 3 different solar cells; Monocrystalline, polycrystalline and thin-film materials are firstly analyzed for energy and exergy analysis of solar panel systems in two separate systems in Denizli. In addition, according to the first system in Denizli, energy and exergy analyzes were conducted in Erzurum and Konya and the results were examined in terms of energy and exergy efficiency.

KEYWORDS: Energy, Exergy, Life Cycle Analysis, Solar Panel, Payback period, Gas emissions

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel	1
1.2 Tezin Amaçları	3
1.3 Tezin Önemi	3
1.4 Tezin Kapsamı.....	4
2. GENEL LİTARATÜR ÖZETİ	6
3. PV SİSTEMLERİNDE TEMEL BİLGİLER VE ENERJİ VE EKSERJİ HESABI.....	11
3.1 Genel	12
3.2 Güneş Pilleri	13
3.2.1 Güneş Pillerinin Yapısı ve Özellikleri	14
3.2.2 Güneş Pillerinin Çalışma İlkesi	15
3.2.2.1 Yarı İletken Malzemelerin Elektriksel Özellikleri.....	16
3.2.3 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler	18
3.2.4 Güneş Pili çeşitleri	19
3.2.4.1 Kristal Silikon PV hücreler	20
3.2.4.1.1 Monokristal Güneş Hücreleri (mono-Si).....	21
3.2.4.1.2 Polikristal Güneş Hücreleri (poly-si).....	22
3.2.4.1.3 Kristal Yapılı Güneş Panelleri	23
3.2.4.2 İnce Film PV Hücreler	25
3.2.4.2.1 Amorf(amorphous-a-Si) İnce Tabaka Güneş Pilleri.....	26
3.2.4.2.2 Cadmiyum telluride (CdTe) ince film güneş pilleri.....	26
3.2.4.2.3 CIGS (Copper indium gallium (di)selenide, Bakır indiyum galyum diselenyum) güneş pilleri	27
3.2.4.3 III-V grubu PV hücreler	28
3.2.4.3.1 Kuantum Kuyulu PV Hücreler	28
3.2.4.3.2 Çok Eklemlili PV hücreler	29
3.2.4.4 Ar-Ge Aşamasında olan Diğer PV hücreler	30
3.2.5 Güneş pili kullanım alanları.....	30
3.3 Güneş Enerjisi Sistemlerinde Enerji ve Ekserji Analiz Hesabı.....	31
4. GÜNEŞ PİLLERİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ.....	36
4.1 Yaşam Döngüsü Analizi.....	36
4.1.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Metodolojisi.....	37
4.1.1.1 Amaç ve Kapsam	38
4.1.1.2 Envanter Analizi.....	38

4.1.1.3	Etki Analizi	39
4.1.1.4	Yorumlama.....	40
4.1.2	Yaşam Döngüsü Analizi Standardizasyonu.....	41
4.1.3	Yaşam Döngüsü Analizi Uygulama Alanları ve Kullanıcıları	42
4.1.3.1	Çevresel Ürün Beyanları (Environmental Product Decleration-EPD)	43
4.1.3.2	AB Eko- Etiketi (Eco-label).....	44
4.1.4	Yaşam Döngüsü Analizi Üzerinde Çalışan Kuruluşlar	45
4.1.4.1	SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)	45
4.1.4.2	ISO (The International Organization for Standardization)	45
4.1.4.3	UNEP (United Nations Environment Development).....	46
4.1.5	Yaşam Döngüsü Analizini Çalışmalarında Kullanılan Yazılımlar	46
4.1.5.1	SimaPro	47
4.1.5.2	GaBi Modeli.....	47
4.1.5.3	Athena Modeli:.....	48
4.2	PV Sistemlerinde Yaşam Döngüsü Analizi.....	49
4.2.1	PV Modüllerinin Üretim İşlemleri.....	50
4.2.1.1	Kristal Silikon PV Modüllerinin Üretim İşlemleri	50
4.2.1.2	Adım Adım Kristal Silikon PV Panelleri.....	52
4.2.1.2.1	Mg-silikon Üretimi	53
4.2.1.2.2	Mg-si Saflaştırma İşlemi.....	53
4.2.1.2.3	Siemens İşleminden Elde Edilen Solar Dereceli Silisyum	55
4.2.1.2.4	Fotovoltaikte Kullanılan Saf Silikon için Üretim Karışımı	55
4.2.1.2.5	Cz-sc Silikon Tek Kristalli Silikon.....	56
4.2.1.2.6	Mc-silikon Döküm.....	57
4.2.1.2.7	Silikon Devre Levhası (Wafer) Üretimi	57
4.2.1.2.8	Güneş Hücreler Üretimi Yaşam Döngüsü Analizi	59
4.2.1.2.9	Güneş Paneli Üretimi.....	62
4.2.1.3	İnce Film PV Modüllerinin Üretim Prosesleri.....	64
4.2.1.4	Kadmiyum Tellürid(CdTe) Güneş Panelleri Yaşam Döngüsü	65
4.2.1.5	Bakır indiyum selenidi CI(G)S fotovoltaik paneller	67
4.2.1.6	Amorf silikon (a-Si).....	69
4.2.2	PV Yaşam Döngüsü Değerlendirme Endeksleri.....	70
4.2.2.1	Enerji Geri Ödeme Süresi (EPT veya EPBT)	70
4.2.2.2	Sera Gazı Emisyonları (GHGE).....	70
4.2.3	İncelenecek Deney Düzenekleri	71
4.2.3.1	Gobi Desert/China Düzeneği	71
4.2.3.2	Peng ve Arkadaşları 2005 Sonrası Verilerle Yaptığı Araştırma.....	73
5.	PV SİSTEMLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ.....	77
5.1	Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	77
5.2	Analizde Kullanılan Güneş Panelleri	81
5.2.1	Analizde Kullanılan Birinci Gruptaki Monokristal Güneş Paneli.....	82
5.2.2	Analizde Kullanılan Birinci Gruptaki Polikristal Güneş Paneli ..	83
5.2.3	Analizde Kullanılan Birinci Gruptaki İnce-Film Güneş Paneli...	84

5.2.4	Analizde Kullanılan İkinci Gruptaki Monokristal Panel	85
5.2.5	Analizde Kullanılan İkinci Gruptaki Polikristal Panel	85
5.2.6	Analizde Kullanılan İkinci Gruptaki İnce-Film Güneş Paneli.....	86
5.3	Denizli Özellikler	86
5.4	Erzurum İli Özellikleri	90
5.5	Konya İli Özellikler	94
5.6	Enerji ve Ekserji Analizleri Sonuçları	99
5.6.1	Denizli Birinci Grup Güneş Panelleriyle Enerji ve Ekserji Analizi	99
5.6.2	Denizli İkinci Grup Güneş Panelleri ile Enerji ve Ekserji Analizi	100
5.6.3	Erzurum İli Güneş Panelleri ile Enerji ve Ekserji Analizi.....	102
5.6.4	Konya İli Güneş Panelleri ile Enerji ve Ekserji Analizi	104
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	107
7.	KAYNAKLAR.....	110
8.	EKLER.....	116
9.	ÖZGEÇMİŞ	122

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Güneş pili, modül ve panele ait görünüm.....	14
Şekil 3.2: Güneş pilinin yapısı.....	14
Şekil 3.3: Güneş modülü katmanları.....	15
Şekil 3.4: Güneş pili çalışma ilkesi.....	16
Şekil 3.5: Güneş pilinde fotovolatik güç oluşumu.....	17
Şekil 3.6: Saf silisyum elde etmek için işlemler.....	20
Şekil 3.7: Kristal hücre üretimi işlem basamakları.....	21
Şekil 3.8: Monokristal hücre örnekleri.....	22
Şekil 3.9: Polikristal hücreler.....	23
Şekil 3.10: a) Güneş paneli içeriği b) Bitmiş bir güneş paneli hücresi.....	24
Şekil 3.11: Amorf(amorphous-a-Si) ince tabaka güneş pilleri.....	26
Şekil 3.12: CdTe ince film güneş pilleri.....	27
Şekil 3.13: CIGS ince film güneş pilleri.....	27
Şekil 3.14: Kuantum kuyulu PV hücreler.....	28
Şekil 3.15: Çok eklemlerli PV hücreler.....	29
Şekil 3.16: Ar-ge aşamasındaki PV hücreler.....	30
Şekil 4.1: Yaşam döngüsü Analizi Metodolojisi.....	37
Şekil 4.2: PV sistemleri için yaşam döngüsü aşamalarının, enerji, malzemelerin ve atıkların akışı.....	50
Şekil 4.3: Kristal yapıları PV modülleri üretim şeması.....	53
Şekil 4.4: İnce film PV modülü üretim şeması.....	65
Şekil 4.5: Altı tip PV modülüne sahip VLS-PV sisteminin enerji geri ödeme süresi [yıl].....	73
Şekil 4.6: Altı tip PV modülüne sahip VLS-PV sisteminin CO ₂ emisyon oranı ..	74
Şekil 4.7: 5 farklı PV sistemleri için enerji geri ödeme süresi.....	75
Şekil 4.8: 5 farklı PV sistemleri tarafından üretilen sera gazı emisyon oranları...75	75
Şekil 4.9: 5 çeşit PV sistemleri için yaşam döngüsü boyunca enerji gereksinimleri.....	76
Şekil 5.1: Solar sistemlerin gigawatt ölçekli pazarları.....	78
Şekil 5.2: Avrupa ışınım haritası.....	79
Şekil 5.3: Türkiye ışınım haritası.....	79
Şekil 5.4: Türkiye global radyasyon değerleri	82
Şekil 5.5: Türkiye güneşlenme süreleri.....	82
Şekil 5.6: NURC300 monokristal güneş paneli.....	83
Şekil 5.7: NDAK275 polikristal güneş paneli.....	84

Şekil 5.8: NA-F128 (G5) ince film güneş paneli.....	85
Şekil 5.9: Denizli ilinin yıllık güneş ışınım dağılımı.....	87
Şekil 5.10: Denizli ilinin güneşlenme süreleri.....	88
Şekil 5.11: Denizli ili global radyasyon değerleri.....	88
Şekil 5.12: Denizli ilindeki ortalama rüzgâr değerlerinin aylık dağılımı.....	89
Şekil 5.13: Denizli ili monokristal, polikristal ve ince-film güneş panelleri yüzey sıcaklıkları ve Denizli ili hava sıcaklığı.....	89
Şekil 5.14: Denizli ili bulutluluk oranı.....	90
Şekil 5.15: Denizli ili yataya düşen aylık ve yıllık ışınım değerleri.....	90
Şekil 5.16: Denizli ili PV panelleri üzerine düşen ışınım miktarları.....	91
Şekil 5.17: Erzurum ilinin yıllık güneş ışınım dağılımı	91
Şekil 5.18: Erzurum ilinin güneşlenme süreleri.....	92
Şekil 5.19: Erzurum ili global radyasyon değerleri.....	92
Şekil 5.20: Erzurum ilindeki ortalama rüzgâr değerlerinin aylık dağılımı.....	93
Şekil 5.21: Erzurum ilinde polikristal,monokristal ve ince-film güneş panellerinin yüzey sıcaklığı ve Erzurum ili hava sıcaklığı.....	93
Şekil 5.22: Erzurum ili bulutluluk oranı.....	94
Şekil 5.23: Erzurum ili yataya düşen aylık ve yıllık ışınım değerleri.....	94
Şekil 5.24: Erzurum ili PV panelleri üzerine düşen ışınım miktarları.....	95
Şekil 5.25: Konya ilinin yıllık güneş ışınım dağılımı.....	95
Şekil 5.26: Konya ilinin güneşlenme süreleri.....	96
Şekil 5.27: Konya ili global radyasyon değerleri.....	96
Şekil 5.28: Konya ilindeki ortalama rüzgâr değerlerinin aylık dağılımı.....	97
Şekil 5.29: Konya ilinde polikristal,monokristal ve ince-film güneş panelleri sıcaklıkları ve Konya ili hava sıcaklığı.....	98
Şekil 5.30: Konya ili bulutluluk oranı.....	98
Şekil 5.31: Konya ili yataya düşen aylık ve yıllık ışınım değerleri.....	99
Şekil 5.32: Konya ili PV panelleri üzerine düşen ışınım miktarları.....	99
Şekil 5.33: Denizli’de birincil sistemde üç ayrı güneş paneli enerji değerleri.....	100
Şekil 5.34: Denizli’de birincil sistemde üç ayrı güneş paneli ekserji değerleri.....	101
Şekil 5.35: Denizli’de ikincil sistemde üç ayrı güneş paneli enerji değerleri.....	102
Şekil 5.36: Denizli’de ikincil sistemde üç ayrı güneş paneli ekserji değerleri.....	103
Şekil 5.37: Erzurum’da üç ayrı güneş paneli enerji değerleri.....	104
Şekil 5.38: Erzurum’da üç ayrı güneş paneli ekserji değerleri.....	105
Şekil 5.39: Konya’da üç ayrı güneş paneli enerji değerleri.....	106
Şekil 5.40: Erzurum’da üç ayrı güneş paneli enerji değerleri.....	107

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Ekserji ve enerjinin farkları	2
Tablo 4.1: ISO standartları serisi tablosu.....	41
Tablo 4.2: Mg-silikon üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar.....	54
Tablo 4.3: Mg saflaştırma işlemi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar.....	55
Tablo 4.4: Solar dereceli silisyum üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar.....	56
Tablo 4.5: Fotovoltaik sistemler için saf silikon üretimi unsurları.....	57
Tablo 4.6: Cz-sc silikon kristalizasyonu sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar.....	57
Tablo 4.7: Mc-silikon döküm sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar.....	58
Tablo 4.8: Silikon devre levha (wafer)üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar.....	60
Tablo 4.9: Güneş hücreleri üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar.....	62
Tablo 4.10: Güneş paneli üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar.....	64
Tablo 4.11: Kadmiyum tellürid(CdTe) güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler.....	67
Tablo 4.12: Bakır indiyum selenidi(CIGS) güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler.....	69
Tablo 4.13: Amorf silikon(a-Si) güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler.....	70
Tablo 5.1: 2018 Türkiye kurulu güç verileri.....	80
Tablo 5.2: NURC300 monokristal güneş paneli.....	83
Tablo 5.3: NDAK275 polikristal güneş paneli.....	84
Tablo 5.4: NA-F128 (G5) ince film güneş paneli.....	85
Tablo 5.5: Parla A-MO 300 monokristal güneş paneli.....	86
Tablo 5.6: Parla A-MU 275' polikristal güneş paneli.....	86
Tablo 5.7: First solar/ FS-4122-3 ince-film güneş paneli.....	87

SEMBOL LİSTESİ

kWh	:	Kilovatsaat
m²	:	Metrekare
MW	:	Megawatt
mm	:	Milimetre
kW	:	Kilowatt
MgCl	:	Magnezyum klorür
NaCl	:	Sodyum klorür
mm²	:	Milimetrekaire
W	:	Watt
cm²	:	Santimetrekare
N	:	Azot
Al	:	Alüminyum
Ga-As	:	Galyum Arsenit
CuInSe₂	:	Bakır İndiyum Diselenid
CdTe	:	Kadmiyum Tellürid
Si	:	Silisyum
mc-si	:	Multikristalin
CIGS	:	Bakır İndiyum Galyum Selenit
a-Si	:	Amorf Silikon
GaInP	:	İndiyum galyum fosfit
Ge	:	Germanyum
m_{giren}	:	Sisteme giren madde miktarı(kg)
m_{çıkan}	:	Sistemden çıkan madde miktarı (kg)
$\sum E x^Q$:	(Termal +Güneş+ Isı kaybı) ekserjileri
S_T	:	Güneş pili panellerinin yüzeyine düşen güneş ışınımı miktarı (W/m ²)
A	:	Güneş pili panellerinin efektif yüzey alanı (m ²)
T_{çevre}	:	Çevre sıcaklığı (K)
T_{güneş}	:	Güneşin sıcaklığı olup hesaplamalarda yaklaşık 6000 K alınır.
$\dot{E}x_{Q,solar}$:	Güneş enerjisinin sebep olduğu panellere gelen ekserji transferi
U_L	:	Isı kayıp katsayısı (W/m ² K)
h_{konv}	:	Isı taşınım katsayısı
V_w	:	Rüzgâr hızı (m/s)
h_{rad}	:	PV paneller ile çevre arasındaki ışıınım katsayısı
ϵ_g	:	PV panel emisivitesi
σ	:	Stefan-Boltzmann sabiti (5.67x10 ⁻⁸ J/s.m ² K ⁴)
T_{gökyüzü}	:	Efektif gökyüzü sıcaklığı
$\sum W$:	PV modül tarafından üretilen maksimum elektrik
E_{xç}	:	Sistemden çıkan özgül ekserji (J/kg)
E_{xg}	:	Sisteme giren özgül ekserji (J/kg)
ψ_{PV}	:	Güneş pili panelleri için ekserji verimi
η_{PV}	:	Güneş pili panelleri için enerji verimi
k	:	Bulutluluk oranı
\overline{S}_T	:	Yatay yüzeye düşen toplam güneş ışınımı
\overline{S}_{Tb}	:	Yatay düzeye düşen direkt güneş ışınımı
\overline{S}_{Td}	:	Yatay düzeye düşen difüz güneş ışınımı

R_b	: Yatay yüzeye düşen direkt güneş ışınımının eğimli yüzeye düşen direkt güneş ışınımına oranını
ρ_g	: Yüzey yayılım oranı (%)
T_{cell}	: PV panellerinin yüzey sıcaklığı
T_{air}	: Dış ortam sıcaklığı
T_{std}	: Standart koşullardaki PV panellerinin yüzey sıcaklığı
h_c	: Rüzgâr hızı değerleri
P_{max}	: Azami güç
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
V_{mp}	: Maximum gerilim
I_{sc}	: Kısa devre akım
I_{mp}	: Maksimum akım
A	: Amper
V	: Volt
W_p	: Güneş panelinin güneş ışınlarının doğru açıda ve yoğunlukta geldiği zaman üretebilecekleri maksimum güçtür
mm³	: Milimetreküp
LCA	: Life circle assesment(Yaşam döngüsü analizi)
Eco-label	: AB Eko- Etiket
M,Q	: Material and energy input (malzeme ve enerji girdisi)
E	: Effluent (air, solid, water) (atıklar = hava, su, katı)
MG-silikon	: Metalurjik dereceli silikon
EG-silikon	: Elektronik silikon
SoG-silikon	: Güneş dereceli silikon
H₂	: Hidrojen
SiHCl₃	: Triklorosilan
SiH₄	: Silan
EVA	: Etil-vinil asetat
EPT veya EPBT	: Enerji Geri Ödeme Süresi
GHGE	: Sera Gazı Emisyonları
E_{inpu}	: PV modülünün kullanım ömrü boyunca birincil enerji girişidir
EBOS	: Destek yapıları, kablolar, elektronik ve elektrik bileşenleri, inverterler ve bataryalar içeren sistem dengesi bileşenlerinin enerji gereksinimleri
E_{output}	: PV sistemi tarafından üretilen elektrikten kaynaklanan yıllık birincil enerji tasarrufu
CO₂	: Karbondioksit
GHGE_{rate,}	: PV sistemi tarafından üretilen birim başına elektrik gücü
GHGE_{total}	: Yaşam döngüsü boyunca toplam GHGE miktarı
ELCA-output,	: PV sistemi tarafından kullanım ömrü boyunca (kWh) üretilen toplam elektrik gücü
GHGE_{PV}	: PV modülleri GHGE emisyonu
GHGE_{BOS}	: BOS bileşenlerine göre toplam GHG emisyonu
GW	: Gigawatt
MJ	: Megajoule

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışması süresince bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren yardımlarını esirgemeyen çok değerli tez danışmanım Prof. Dr. Harun Kemal Öztürk'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez boyunca beni her anlamda destekleyen babam Mehmet Hanifi Ekinci ve annem Nezahat Ekinci'ye sonsuz teşekkür ve şükranı bir borç bilirim.

Ayrıca varlıkları ile bana güç veren tüm arkadaşlarıma, dostlarıma ve yakınlarıma teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Termodinamik, enerji transferleri ve enerji dönüşümlerinin meydana geldiği süreçlerin, sistemlerin ve cihazların analizinde önemli bir rol oynar. Termodinamiğin etkileri çok geniş kapsamlıdır. Teknoloji tarihi boyunca enerjiyi kullanabilme ve bunu toplumun ihtiyaçları için kullanma becerisi gelişmiştir. Sanayi devrimi, büyük ölçüde enerjinin nasıl kullanılacağı ve ısının işe nasıl dönüştürüleceğinin keşfiyle körüklenmiştir. Doğa, işin tamamen ısıya dönüşmesine izin verir, ancak ısı tamamen işe dönüştürülemez ve bunu yapmak için bir aygıt gerektirir (örnek olarak, döngüsel motor vb.). Motorlar, ısının çalışmasını ve işe dönüşmesini optimize etmeye çalışır.

Enerji ve ekserji analizi, termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını birlikte ele alan ve enerjinin maksimum kullanımı veya kullanılabilirliğini ifade eden bir analiz şeklidir. Termodinamiğin Birinci Kanunu'na göre yapılan enerji analizleri enerjinin niceliğiyle ilgilidir. Enerji analizi vasıtasıyla eldeki enerjinin sistem bileşenlerinde kullanılan ve kullanılmayan miktarlarını belirlemek mümkündür. Enerji analizi, ısı ve iş arasındaki farkı önemsemeden tüketilen enerji miktarını hesaplayan bir analiz olup mühendislik sistemlerinin dizayn ve analizlerinde yeterli değildir. Bu nedenle, ikinci yasa olarak bilinen ekserji analizi ile termodinamikte önemli bir yeri olan tersinmezliklerden kaynaklanan ekserji kayıpları hesaplanabilmektedir. Bu nedenle ekserji analizine dayalı sistem değerlendirmeleri daha uygun bir yaklaşım olmaktadır. Enerji ve ekserji analizinden elde edilen sonuçlara göre, tersinmezliklere bağlı olarak meydana gelen kayıplar tespit edilerek sistemde yapılması gereken iyileştirmeler belirlenebilmektedir. Enerji ile ekserji kıyaslandıktan sonra, ekserji analizi yapmanın önemini aşağıda sıralayabiliriz (Dinçer, 2007):

- Enerji kaynakları kullanımının çevreye olan etkilerinin en iyi şekilde belirlenmesinde ana bir araçtır.

- Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.
- Daha fazla verimli kaynak kullanılma amacını destekleyen uygun bir tekniktir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerleri, tipleri ve gerçek büyüklükleri ortaya çıkarılır.
- Mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemlerini tasarlamamanın nasıl mümkün olup- olamayacağını gösteren etkin bir tekniktir.
- Sürdürülebilir gelişmenin elde edilmesinde anahtar bir bileşendir.
- Enerji politikaların oluşturulmasında kullanılabilir önemli bir araçtır.

Tablo 1.1’de Ekserji ve enerjinin farkları gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Ekserji ve enerjinin farkları (Dinçer 2007)

EKSERJİ	ENERJİ
Sıfıra eşittir (çevreyle dengede olan ölü hal durumunda)	Sıfırdan farklı değerleri vardır.
Madde veya enerji akışı ve çevresel parametrelerin her ikisiyle de ilgilidir.	Sadece madde ya da enerji akış parametrelerine dayanır ve çevresel parametrelerle ilişkili değildir.
Sadece tersinir proseslerde termodinamiğin birinci yasası ile ifade edilir.	Tüm proseslerde termodinamiğin birinci yasası ile ifade edilir.
İş ya da iş üretme kabiliyetidir.	Hareket veya hareket üretme kabiliyetidir.
Niceliğin bir ölçüsüdür.	Miktarın bir ölçüsüdür.
Tersinir proseslerde her zaman korunur fakat tersinmez proseslerde harcanır.	Bir proseste daima korunur ve vardan yok olmaz, yoktan da var olmaz.
Termodinamiğin ikinci yasası gereği tersinir prosesler için sınırlı değildir.	Tüm geçerli proseslerde termodinamiğin ikinci yasasıyla sınırlıdır.

1.2 Tezin Amaçları

Teknolojinin ilerlemesi, dünya nüfusunun katlanarak çoğalması insanların enerjiye olan ihtiyacını da artırmaktadır ve hızla artmakta olan enerji ihtiyacını temin edebilmek için de temiz ve ekonomik enerji kaynakları konusunda araştırmalar günden güne artmaktadır. Hali hazırda enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamakta olan fosil yakıtlara alternatif olarak, kullanım alanı sürekli büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi en ideal enerji kaynağı olarak gösterilebilir. Güneş enerjisi tüm dünyanın ilgisini çekmiş ve birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu tezdeki amaç:

- Türkiye’de güneş enerjisinin yeri hakkında bilgiler vermek,
- Güneş pili sistemleri yöntemleri ve tekniklerini açıklamak,
- Farklı güneş pili modüllerinin tanıtılmasının sağlanması,
- Güneş pili modüllerinin enerji ve ekserji analizlerini yapmak,
- Yapılan enerji ve ekserji analizlerini karşılaştırarak sistemleri avantajlarına göre sıralanmasını sağlamak,
- Güneş pili modüllerinin yaşam döngüsü analizi yapılarak güneş pillerinin türleri arasındaki farkları incelemektir.

1.3 Tezin Önemi

Gelişmekte olan ülkeler arasında bulunan ülkemiz için çok önemli olan dış ticaret açığında en büyük payı enerji ücretleri almaktadır. Fosil yakıtlar yerine kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynağı güneş; ülkemizde hem elektrik üretimi hem de ısıtma amaçlı kullanılacak potansiyele sahiptir. Ülkemiz bulunduğu coğrafi konumu sayesinde güneş potansiyeli konusunda çok ama çok şanslı bir bölgede yer almaktadır. Özellikle Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz Bölgeleri gün boyunca güneşin uzun süre etkisinde olan bölgelerimizdir. Enerji bakanlığınca tarafınca yapılan çalışmalar, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m²/yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m²/gün) olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde 2017 yılı sonu itibari ile toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık 20.000.000 m²’ye ulaştığı ve 823.000 TEP (Ton

Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi ürettiği belirlenmiştir. 2017 yılında güneş enerjisinden 2,9 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2018 Haziran ayı sonu itibarıyla ülkemizde lisanssız 4.703 MW, lisanslı 23 MW olmak üzere toplam PV güneş enerjisi santrali kurulu gücü 4.726 MW'tır (Url-1, 2019).

Enerji kaynağı olarak kullanılan güneşin bedava olması ve coğrafi konuma bağlı olarak ulaşımı kolay olması açısından verimli sistemler olarak ön plana çıkmaktadır. Güneş alma süresi bizden çok daha düşük olan Almanya bu sektörde başı çeken ülkelerdendir. Var olan potansiyeli kullanmak ve dışa bağımlılığımızı azaltma için bu tür sistemler teşvik edilmeli ve bu sistemleri içimizde öğütüp teknolojik olarak geliştirmeliyiz. Bu tezde de güneş enerjisi sistemini tanıtır enerji ve ekserji analizlerini yapıp modüller arası farklar göz önüne çıkarılmaya çalışılacak. Bu modüller arası fark gösterilecektir Modüllerin yaşam döngüsü analizi ile derinlere inilecektir. Güneş enerjisi sistemini sonsuz bir kaynak olduğu göz önüne alındığı zaman bu sistemlerin önemi açıkça görülmektedir.

1.4 Tezin Kapsamı

Tez, sekiz ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan “Giriş” bölümünde enerjinin hayatımızda bulunduğu yeri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini, güneş pili enerji üretimindeki öneminden bahsedilmiştir. Tezin amaçları ve Tezin önemi de bu bölümde bulunmaktadır.

İkinci bölümde Genel literatür bölümü yer almaktadır. Bu bölümde PV sistemleri, enerji ve ekserji analizi ve yaşam döngüsü konularında literatür bilgisi verilmiştir.

Üçüncü bölümde PV sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir bu ek olarak PV sistemlerinde enerji ve ekserji analizi formülleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde yaşam döngüsü analizi tanıtılmış ve PV sistemlerinde yaşam döngüsü analizi işlenmiştir.

Beşinci bölümde enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.

Altıncı bölüm sonuç ve önerilerin yer aldığı bölümdür.

Yedinci bölüm kaynaklar bölümüdür.

2. GENEL LİTARATÜR ÖZETİ

Güneş enerjisi enerji ve ekserji analizi üzerinde çeşitli türlerde ve alanlarda literatür mevcuttur.

Pathak ve arkadaşları (2014), güneş enerjisi, fotovoltaik ve hibrid fotovoltaik termal sistemler olarak üç sistem için ekserji analizi ile güneş çatı erişiminin optimizasyon sınırı üzerinde çalışmışlardır. Farklı güneş akısındaki Detroit, Denver ve Phoenix gibi üç farklı konum için problemi simüle ettiler. PV/T sistemlerinin tüm losyonlarda %69'luk bir performans göstermesi, tamamen PV sistemleri ile eşleştiğinde %6,5 ile %8,4 arasında daha fazla ekserji üreterek saf güneş termal sistemi olarak 4 kat fazla ekserji üretmektedir.

Sudhakar ve Srivastava (2014), bir PV panelinin termal, elektrik ve ekserji çıkışını araştırdılar. Enerji ve ekserji verimliliğinin gün içinde sırasıyla %6-9 ile %8-10 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ek olarak, PV modülünün ekserji verimliliği, başlangıçta güneş ışınım şiddetindeki artışla artar ve maksimum noktaya ulaştıktan sonra azaldığı bilgisi verilmiştir.

Sundaram ve Babu (2015) Hindistan'ın Mettupalayam şehrinde 5MWp şebekesine bağlı güneş enerjisi santralının enerjisini ve verimliliğini araştırmıştır.

Saloux ve arkadaşları (2013), fotovoltaik (PV) ve fotovoltaik / termal (PV/T) sistemlerin ekserji analizlerini yapmışlardır. Enerji ve ekserji dengeleri üzerinde çalışmışlar hem termal hem de elektriksel enerji akışında yer alan farklı ekserji kayıplarını tanımlamak için birleştirilmiştir.

Kumar ve Sudhakar (2015), kapasite bakımından türünün ilk örneği olan 10 MWgrid bağlı güneş enerjisi santralının performansını analiz etmişlerdir. Sonuç olarak monokristal güneş pillerinin üretimi için daha fazla enerji gerektiğini ve bunu diğer modüllere göre daha uzun sürede karşıladığı gözlemlenmiştir.

Akyüz ve arkadaşları (2012), Türkiye'de kurulu bir PV sisteminden elde edilen gerçek deneysel verileri kullanarak iki vaka için ekserji etkinliğinin çeşitliliğini araştırmışlardır. Veri analizi için Matlab-Simulink yazılım ortamını kullanarak yeni

bir bilgisayar programı yazılmıştır. Daha sonra, tüm sonuçlar karşılaştırma amacıyla sağlanmıştır.

Şahin ve arkadaşları (2014) , PV sistemlerinin enerji ve ekserji verimliliğini hesaplamada kullanılan iki yaklaşımı, yani parametrik ve fotonik yöntemini incelediler. Bu modüllerin değeri tipik bir gün için hesaplandı ve değeri minimum %7,8 ile maksimum %13,8 arasında değişiyordu.

Joshi ve arkadaşları (2009), enerji ve ekserji verimliliğine dayalı olarak bir fotovoltaiik (PV) ve fotovoltaiik-termal (PV/T) sisteminin performans özelliklerini araştırmışlardır. Ekserji verimliliğini değerlendirmek için bir PV sisteminin ve bileşenlerinin ekserji analizine başvurdular. Ayrıca sistem için “dolgu faktörü” değerlerini de belirlediler ve doldurma faktörünün verimlilik üzerindeki etkisi de değerlendirildi.

Shukla ve arkadaşları (2014) özellikle güneşli bir gün için amorf ve polikristalin PV modülünün güç ve verimindeki değişimleri analiz etmişlerdir. Bu modüllerden elde edilen sonuçları literatür ile karşılaştırmışlardır.

Park ve arkadaşları (2014), güneş enerjisi güneş fotovoltaiik ve biyokütle kompostoları gibi tipik yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji ve ekserji analizleri üzerine literatür taraması yapmışlardır.

Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) 90'lıllardan itibaren gelen zaman içinde ürünlerin gelişim ve operasyonlarındaki işlemlerde karar verilirken gittikçe daha çok başvurulan ve sürekli gelişmekte olan bir teknik olmuştur ve bu PV güneş panellerine ve sistemlerine de yansımıştır.

PV'lerin LCA'sı üzerine birçok yorum yayınlanmıştır. Bununla birlikte, bunlar spesifik panel tipi veya spesifik çevresel göstergeler hakkındadır. Peng ve arkadaşları (2013) sadece enerji tüketimini, Enerji Geri Ödeme Zamanını (EPBT) ve küresel ısınma potansiyelini (GHGE) araştırdı.

Sherwani ve ark. (2010)sadece silikon esaslı panelleri göz önüne almaktadır. Bu çalışmanın amacı, panelleri tanımlayan ve kullanılan metodolojinin altını çizen, tüm panel tiplerinin PV'lerinin LCA'sı hakkında güncel bir inceleme sunmaktır.

Pacca ve arkadaşları (2007), Michigan Üniversitesi'nin çatısına 33 kW'lık bir kurulumda polikristal silikon PV'leri (%13'lük verimlilik) amorf silikonla (%6,3'lük verimlilik) karşılaştırmıştır. Net Enerji Oranı (NER), EPBT ve CO₂ emisyonları hesaplanmaktadır. Polikristalin modüllerinin NER değeri 2.7'dir ve EPBT değeri amorf silikon için 5.14 ve 3.15 iken polikristal için 7,4 yıla ulaşmaktadır. CO₂ emisyonları için sırasıyla 72,4'e karşılık 34,3 g CO₂/kWh elde eder. Üretim sırasında panel verimliliği ve enerji tasarrufu ile ilgili duyarlılık analizleri de yapılmaktadır. Ayrıca, panel üretimi sırasında fotovoltaik elektrik kullanmanın avantajları vurgulanmaktadır.

Stoppato (2008), polikristal silisyum PV'lerini (%16 verim) incelemiş, bazı ülkeler için ışınımlarını ve elektrik karışımlarını dikkate alarak hesaplanmıştır. Belçika'da, EBPT 6.241 yıl ve kaçınılmış CO₂ emisyonları 0.1954 tCO₂/ kWp'dir. İspanya'da kurulan 200 kWp'lik bir polikristal silikon PV'lerin LCA'sı, ham madde ekstraksiyonundan elektrik üretimine kadar olan adımlar dikkate alınarak gerçekleştirilir. İşlevsel birim 1 kWh elektrik üretimidir. EPBT, ışınlamaya bağlı olarak 3,5 ila 5 yıl arasındadır. Enerji tüketiminin çoğu modül üretim aşamasına bağlanabilir. Diğer PV tipleri ile yapılan bir karşılaştırma, ince katman PV'lerin en düşük enerji tüketimine sahip olduğunu ve monokristal silikon PV'lerin çalışılan panelden daha düşük emisyon ürettiğini göstermektedir. Ekolojik ayak izi yöntemi de sisteme uygulanmıştır.

Schaefer ve Hagedorn (2000), farklı güç istasyonlarının yüzey ve malzeme gereksinimlerinin karşılaştırmalı bir analizini yapmıştır. PV elektrik üretim tesislerinin imalatında ve yapımında biriken enerji tüketimi, PV elektrik üretiminin neden olduğu CO₂ emisyonları ve enerji amortisman süresi veya enerji geri ödeme süresi (EPBT) değerlendirildi. Fotovoltaik enerji santrallerinin inşası için biriken birincil enerji tüketimi 13.000 ila 21.000 kWh / kWp arasında değişmek olduğunu söylemişlerdir ve mevcut teknoloji için en düşük eşiği temsil edildiğini belirtmişlerdir.

Kannan ve arkadaşları (2006) Singapur'da faaliyet gösteren 2,7 kWp solar PV sistemi için LCA ve yaşam döngüsü maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada solar PV sisteminin EPBT analizi, bunların sera gazı emisyonu tahmin edilmiştir.

İzleme sistemli PV'ler de Perpiñan ve arkadaşları (2009) tarafından çalışılmıştır. Bir inceleme yaparlar ve sonra kendi verilerini eklerler. Modüller %12,4 verimlilikle silikondur. Şebekeye bağlı sistemler incelenmekte ve izleme sistemlerinin kullanılmasının çevresel avantajları gösterilmektedir: çalışılan sistemin EPBT'si her zaman 5 yaştan altındadır.

Battisti ve Corrado (2005), Roma'da eğik bir tavana ızgaraya geleneksel poli kristalli (pc) silikon PV sisteminin LCA'sını yapmıştır. Hesaplanan EPBT 3,3 yıl olarak bulunmuştur.

Kato ve arkadaşları (1997), yarı iletken endüstrilerden tedarik edilen sınıf dışı silikon kullanılarak çatıya monte edilmiş 3 kW konut PV sistemi için monokristalin silikon fotovoltaik hücrelerin yaşam döngüsü analizini yapmışlardır. PV sisteminin yıllık elektrik çıkışı 3.47 MWh / yıl olarak hesaplanmışlardır.

Cepheye entegre PV'ler Perez ve arkadaşları (2012) tarafından incelenmiştir, New York'ta kurulu atık buhar mono-Si ile birlikte bir Cephe entegre PV sistemi üzerinde çalışmışlardır. İşlevsel birim, 1 kWh üretimdir. BOS bileşenleri dahil edilmiştir ve performansları yerinde ölçülmektedir. İki senaryo göz önünde bulundurulur: ilkinde, atık akışından gelen silikon devre levhanın çevresel bir etkisi yoktur; ikincisinde, silikon devre levhalar çalışılan sistem için özel olarak üretilir ve LCAYA dahil edilir. İlk senaryoda EPBT 1 yıldan az, ikincisi ise 3,8 yıldır. "PCC GWP100a" metodolojisi ile hesaplanan GWP(GHGE) sırasıyla 10.2 ve 60.5 g CO₂/kWh'tir.

García-Valverde ve ark. [41], Murcia Üniversitesi'nde (İspanya'nın güney-doğusundaki) 4.2kWp'lik bağımsız bir fotovoltaik sistemi değerlendirdiler. Enerji geri ödeme süresi ve spesifik CO₂ emisyonları ve sonuçları diğer tedarik seçenekleriyle karşılaştırılmıştır, Enerji geri ödeme süresi 2,2-2,7 yıl arası değerler elde edilmiştir.

Meijer ve arkadaşları (2003) daha yakın zamanda bir mc-Si modülü üretmek için 4900 MJ / m² enerji harcamasının yüksek olduğunu değerlendirmiştir. %14,5 hücre verimliliğine sahip 270 µm kalınlığındaki silikon PV'nin, daha yüksek enerji tüketimi gerektiren, elektronik dereceli yüksek saflıkta silikondan üretildiğini

varsayarak modül için ilgili EPBT tahmini, BOS bileşenleri hariç 3,5 yıl olarak bulunmuştur.

3. PV SİSTEMLERİNDE TEMEL BİLGİLER VE ENERJİ VE EKSERJİ HESABI

1839 yılında Fransız bilim adamı Edmond Becquarel dünyada ilk kez fotoelektrik olayını keşfetmiştir ve bir teori öne sürmüştür teori ışık enerjisinin soğurularak elektriksel voltaj elde edilebileceği teoridir. 1873-1876 yılında ise İngiltere'den elektrik mühendisi Willoughly Smith selenyum elementinin foto iletkenliğini keşfetti. Bu keşifle beraber güneş enerjisinin kolayca toplanabileceği gösterilmiştir. 1883 yılında ise Charles Fritt tarafından ilk solar hücre üretilmiştir. Üretilen bu solar hücrenin verimi %1-2 arasında değişmekteydi. Günümüzdeki solar hücre verimleri gelişmiş olup %15-%20 aralığında değişmektedir. (Turhan, 2011)

1887 yılında ilk kez Alman bilim insanı Heinrich Hertz tarafından fotoelektrik olay gözlenmiştir. 1946'da Russell Ohl, modern PV hücresi patentini almıştır. 1953-1956 yılları içerisinde Bell laboratuvarında yapılan incelemeler ve çalışmalar sonrasında silikon güneş hücrelerinin ticari olarak üretilmesine başlanmıştır. 1958 yılına gelindiğinde solar enerji sistemleri uzay çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. 1970'lerin sonunda meydana gelmiş olan Petrol krizi ile, Alternatif enerji kaynakları arama işlemi başlandı. PV hücrelere ilgi artmış olup PV hücrelerinin ve arge üretimleri açık şekilde hızlanmıştır.

1982 yılında ise Hesperia, Kaliforniya'da 1MWe gücünde bir güneş enerji santrali inşa edilmiştir. 1985 yılında New South Wales Üniversitesinde yapılan çalışmalar sonucunda %20 verimli silisyum PV hücreler geliştirilmiştir. 1988 yılında Applied Solar Energy Corp. Şirketi %17 verimli iki-eklemler PV hücrelerinin seri üretimine başlamıştır. Bu şirket 1989 yılında %19 verimli iki-eklemler PV hücreleri geliştirmiştir. 1993 yılında yine bu şirket %20 verimli iki-eklemler PV hücrelerin üretimine geçmiştir. 1994-1999 yıllarına gelindiğinde ise NREL kurumu tarafından %30-%33 değerleri arasında verimli güneş hücreleri üretilmiştir. 2000 yılından sonra üç-eklemler PV hücreleri üretimi başlanmış ve hız kazanmıştır kısa sürece verimler %20 den başlayarak %40 'lı değerlere ulaşmıştır (Url-2, 2019)

3.1 Genel

Fotovoltaik (PV), güneş enerjisini elektrik akımına dönüştürmeye yarayan teknolojinin adıdır. Fotovoltaik etki ise bazı materyallerin güneş enerjisini direk olarak elektrik enerjisine çevirme özelliğidir.

“Fotovoltaik” sözcüğünü inceleyecek olursak ‘foto’ sözcüğü ışık anlamına gelmekte ‘voltaik’ sözcüğü ise elektrik anlamına gelmektedir. Güneş enerjisini kullanılabilir güce çeviren Fotovoltaik teknolojisi ışıktan elektrik üretimi yapmaktadır. “Fotovoltaik pil” tanımı; fotovoltaik özellikler sonucunda elektrik üreten yapılara denmektedir ve başka şekillerde de ifade edilmektedir. Örneğin: “güneş pili”, “fototronik ftopil” bunlardan bazılarıdır.

Sonuç olarak güneş pillerini yüzeylerine gelen güneş ışınımını doğrudan yolla elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri, içerisinde yarı iletkenler bulunduran ve mevcut halde bulunan yenilenebilir enerji kaynakları arasında en temiz olanların arasında yer almaktadır. Fotovoltaik sistemlerin bazı avantaj ve dezavantajlarından bahsedecek olursak;

Avantajlardan bazıları,

- Modüler sistemlerdir her yere kolayca monte edilebilirler.
- Kullandığı enerji kaynağı sonsuz ve ücretsizdir.
- Sistemi bozacak veya yıpratıcı parçalar yoktur.
- Çalışma esnasında zararlı gazlar veya kirlilik çeşitleri açığa çıkarmaz.
- Yüksek bakım gerektirmemekte düşük düzey bakım ile sistem yürütülmektedir.

Bazı dezavantajlar;

- Enerji kaynağı dağınık pozisyonlarda olmakta ve sabit değildir.
- Sistemi kurmak için gereken maliyetler yüksektir.
- Enerji kaynağı düzenli değildir.

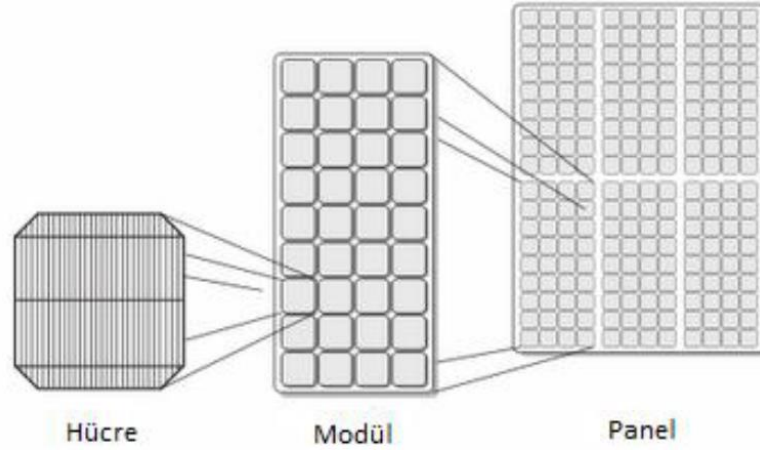
3.2 Güneş Pilleri

Üzerlerine gelen güneş ışığını doğrudan yolla elektrik enerjisine çeviren yarıiletken maddelere Güneş pilleri denmektedir. Fotonlar güneş enerjisinin taşıyıcıları ve yayıcılarıdır ve fotovoltaiik hücre üzerine düşünce elektrik enerjisine evrilirler. Bitkiler milyonlarca yıldır fotovoltaiik güneş paneli tarzı enerji dönüşümü yaparak yani güneş enerjisini fotosentezde kullanarak çalışmaktadır.

Fotoelektrik olay ise güneş ışınımının yarıiletken madde üzerine düştüğü zaman ışınımın enerjisi madde atomlarını en dış yörüngesinde bulunan atomları hareket ettirme olayıdır. Bu sayede bu gevşek atomların hareketi ile iletkenler üzerinde elektrik akımı oluşur. Elektronlar ise taşıdıkları enerji miktarlarını karşılaştıkları engeller üzerinde bırakarak iş yaparlar (Url-2, 2019).

Güneş pilleri silikon temelli olup yarı iletken teknoloji ile üretilmiş sistemlerdir. Yüzey kısımları kare, dikdörtgen daire gibi geometrik şekillerde olup yüzey alanları 100 cm² olmaktadır. Kalınlıkları hakkında ise 0.2-0.4 mm arasında değiştiği bilgileri mevcuttur. Fotovoltaiik cihazların üretiminde en çok kullanılan yarı iletken malzemeler silisyum ve silisyum alaşımlarıdır. Fotovoltaiik sistemlerin yapısı iki katmanlıdır. P tipi taban üzerinde ince bir N tipi tabaka bulunur. Işık bu iki tabakaların kontak noktasına düştüğü anda P tipi malzemenin N tipine kıyasla daha pozitif olduğu bir gerilim meydana gelir bu gerilim 0,6 voltur (Url-3, 2019).

Güneş pillerinin dağılışına bağlı olarak verim %5-%20 arasında değişmektedir. Güç çıkışını arttırmak için ise çok sayıda ele alına güneş pilleri birbirine paralel veya seri bağlanır ve bir yüzey üzerine monte etme işlemi yapılır bu elde edilen sisteme ise pil modülü veyahut fotovoltaiik modül denmektedir. Bu sayede watt'lık değerlerden megawatt'lık değerlere ulaşılır. Şekil 3.1'de güneş pili, modül ve panele ait görünüm verilmiştir (Girgin,2010).

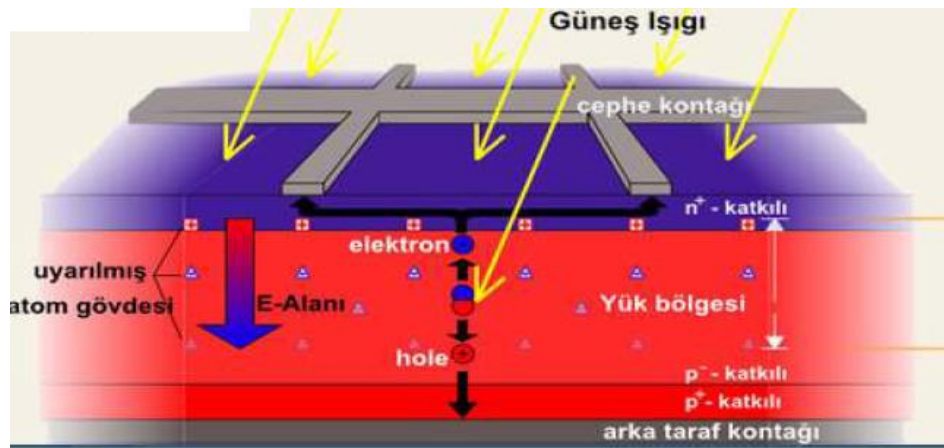


Şekil 3.1: Güneş pili, modül ve panele ait görünüm (Girgin, 2010)

3.2.1 Güneş Pillerinin Yapısı ve Özellikleri

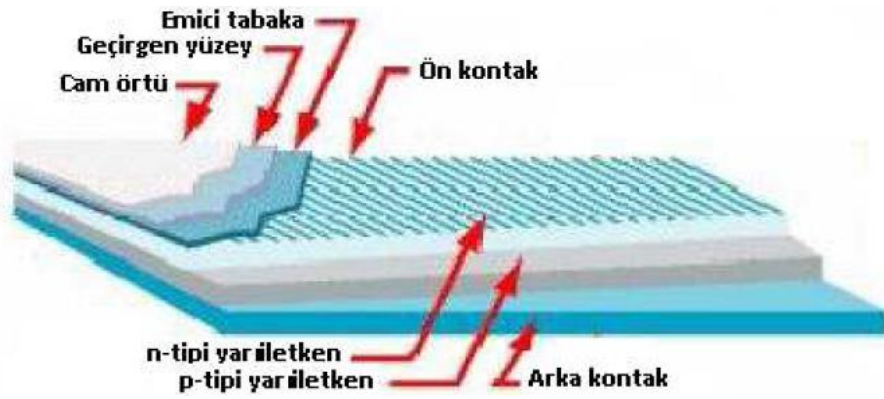
Güneş pilleri iki katmana sahiptir. Bunlardan biri fosfor atomları eklenmiş Silisyumdan meydana gelmiş olan ve pilin negatif tarafı 'n' katmanıdır diğer katman ise bor atomları eklenmiş halde bulunan ve silisyumdan oluşan pilin pozitif katmanı olan p katmanıdır. Ek olarak negatif ve pozitif katmanların yüklerinin ayrışma sonrası komşu duruma gelmiş olduğu yere ise 'p-n eklemi' denmektedir (Url-12, 2019).

Dış devre ile bağlantıyı sağlayan bakır kontaklar bulunmakta olup bunlar negatif (ön) ve pozitif (arka) bölgede bulunurlar. Bunlara ek olarak ön yüzey kısmında ışın soğurucu bir kaplama malzemesi vardır bu kaplama 150 mikron kalınlığındadır (Url-3, 2019). Şekil 3.2'de Güneş pilinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Güneş pilinin yapısı (Url-3, 2019)

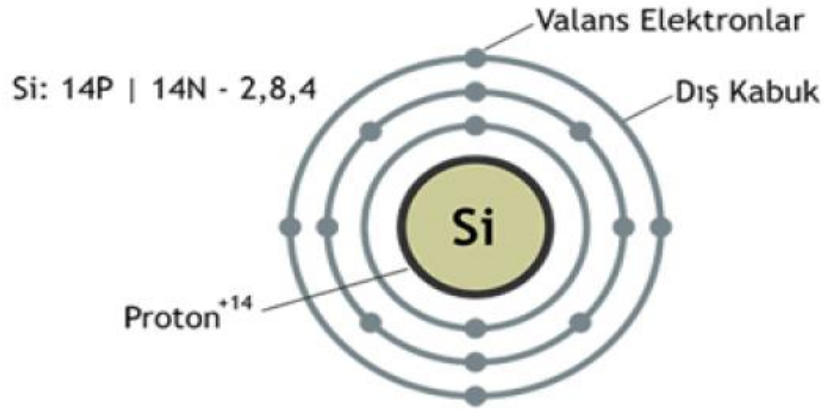
Güneş pilleri mikro teknoloji ile üretilmiş ve karmaşık ve zorlu bir süreçten geçmiş olmasına karşın dayanıklı ve zor bozulan malzemelerdir. Çok uzun yıllar boyunca bozulmadan çalışabilmektedirler. Çıkışlarında herhangi bir yük taşımadığı durumlarda içindeki yüksek değerlerde iç dirence sahip olduğu için enerji harcanması gerçekleşmez. Buna ek olarak çıkış uç kısımları kısa devre edildiği uygulamalarda kolayca bozulmazlar (Url-3, 2019). Şekil 3.3’de güneş modülü katmanları gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Güneş modülü katmanları (Url-3, 2019)

3.2.2 Güneş Pillerinin Çalışma İlkesi

Evrende bulunan her şey dengededir. Atomların da denge durumunda olabilmesi bir şarta bağlıdır. O şart proton sayısı = elektron sayısı şartı ile gerçekleşmektedir. Yukarıda ki şekilde silisyum atomunun elektronları üç yörüngeye dağılmıştır. Bu elektronların ilk iki yörüngesindeki on elektron atom çekirdeğine sıkı sıkıya bağlıdır. Son yörüngesindeki dört atom ise gevşek bağa sahiptir. İşte elektrik akımını sağlayan bu dört adet valans elektrondur (Url-3,2019). Güneş pilinin çalışma ilkesi sembolik olarak Şekil 3.4’de görülmektedir.



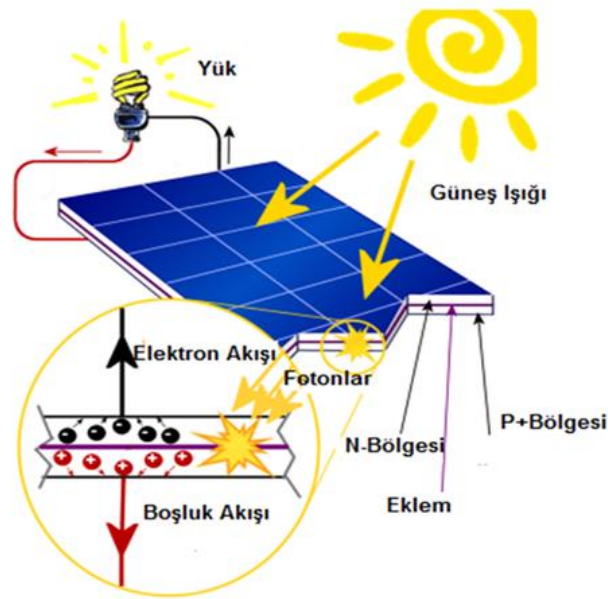
Şekil 3.4: Güneş pili çalışma ilkesi (Url-3,2019)

3.2.2.1 Yarı İletken Malzemelerin Elektriksel Özellikleri

- Yarıiletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için bir şartın sağlanmış olması gerekmektedir. Bu şart ‘n ya da p’ tipi madde ile katkılanmış olmalarıdır. Katkılama işlemi saf yarıiletken eriyik içerisine katkı maddelerinin kontrollü bir biçimde eklenmesi işlemidir.
- En çok kullanılan pil maddesi silisyumdur. Örneğin silisyumdan ‘n’ tipi silisyum eldesi için eriyik halde bulunan silisyuma Mendeleev cetvelini beşinci grubundan bir element örnek olarak N (azot) olsun silisyumun dış yörüngesindeki dört azotun dış yörüngesindeki beş elektron mevcut olduğu için azotun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir.
- P tipi silisyum eldesi için ise eriyik haline Mendeleev cetvelinin üçüncü grubundan bir element eklenir örnek olarak Al(alüminyum) olabilir. Al son yörüngesinde üç elektron olduğu için kristal bir elektron eksikliği olacaktır. Bu elektron boşluğuna çeşitli isimler verilebilir. Bunlardan bazıları ‘hol’ veya ‘boşluk’ ‘tur ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tip malzemelere ise ‘p tipi’ denmektedir.
- Taşıyıcılar N tipi yarıiletkenlerde elektronlar P tipi elektronlarda hollerdir çoğunluk durumundadır. Eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşüm sağlanır ve böylelikle yarıiletken eklem bölgesi güneş pili olarak çalışır.
- Dönüşüm iki kısımda gerçekleşecektir. Birinci kısımda eklem bölgesine düşen ışıklar elektron-hal çiftlerini oluşturacaktır. İkinci kısımda ise bunlar bölgedeki elektrik alanı sayesinde birbirlerinden ayrılırlar. Bu şekilde

güneş pilleri elektronları n kısmına holleri de p kısmına iten bir pompa görevi görmektedir.

- Yarıiletken madde iletkenlik bandı ve valans bantları iletken maddelerdeki gibi ne çok yakın ne de birbirlerinden uzaktır. Bu yakınlık dışarıdan küçük değerlerde bir enerji uygulandığında elektronların kolay bir biçimde iletkenlik bandına geçebileceği kadar yakınlıktadır.
- Silikon hücre üzerinde düşen güneş ışığı fotovoltaiik hücreler tarafından emilir.
- Radyasyon etkisi ile polarize olan katkılı silisyum maddeleri fotonların enerjisini alır ve serbest haldeki elektronlar sayesinde bir enerji kaynağına dönüştürür.
- Işınım etkisi ile Al katkılı P maddesinden ayrılan elektronlar, N(azot) katkılı N maddesinde birikirler tipi maddenin çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar dış devre yolunu kullanarak p maddesindeki çoğunluk taşıyıcısı boşluklarına dönerken enerjilerini devredeki yük üzerinde bırakırlar.
- Silikon hücre ışınım aldığı sürece döngü devam edecektir ve elektrik üretimi de aynen bu şekilde gerçekleşmiş olacaktır (Url-3, 2019) Şekil 3.5'te güneş pilinde fotovoltaiik güç oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Güneş pilinde fotovoltaiik güç oluşumu (Url-14, 2019)

3.2.3 Güneş Pillerimim Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri çok farklı maddelerden faydalanarak üretilebilirler. Halihazırda kullanılan maddeler aşağıda tanıtılmıştır.

Kristal Silisyum

Hali hazırda büyütülmüş olan silisyum blokları 150-200 mikron arasında dilimlenerek Tek kristal silisyum bloklardan üretilirse laboratuvar şartlarında %24, ticari modül şartlarında ise %15 değerinin üzerinde verimlilik değeri elde edilir. Eğer dökme silisyum bloklardan dilimlenerek çok kristal silisyum güneş pilleri elde edilirse bu sistem daha uygun fiyata üretilir fakat verim olarak daha düşük değerlerde performans alınır. Bu verim laboratuvar şartlarında %18 olmasına karşı ticari modüllerde %14 civarındadır (Ulu, 2010).

Amorf Silisyum

Bu piller kristal yapı özelliği göstermemektedir. Verimleri ise %10 civarında olup ticari modüllerinde %5-%7 düzeyindedir. Bu piller daha çok küçük elektronik cihazlarda güç kaynağı olarak kullanılırlar. Önemli diğer uygulama alanları güneş ışınımının daha az olduğu yerlerde binalara entegre edilen yarı saydam cam yüzeyler, enerji üretici ve bina dış koruyucusu olarak kullanılmaktadır (Ulu, 2010).

Galyum Arsenit (Ga-As)

Bu malzeme kullanılarak laboratuvar şartlarında %25 ve optik yoğunlaştırıcı kullanılarak %28 verim elde edilmiştir. Bazı iletkenlerle beraber oluşturulan çok eklemlili Ga-As pillerinde %30 verim elde edilmiştir. Bu tür güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadırlar (Ulu, 2010).

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂)

Çok kristal bir pil yapısı olmakla beraber laboratuvar şartlarında %17,7 verim elde edilmiştir. Buna ek olarak enerji üretimi amacıyla geliştirilmiş bir prototip modülde yaklaşık olarak %10,2 verim elde edilmiştir (Ulu, 2010).

Kadmiyum Tellürid (CdTe)

CdTe çok kristal yapıda bir malzemedir. Bu madde güneş pilleri maliyetini çok aşağıda değerlere çekebilme potansiyeline sahiptir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde denenmiş %16 verim elde edilmiştir. Ticari tip modüllerinde ise daha düşük bir değer olan %7 civarında verim elde edilmiştir (Ulu, 2010).

Optik Yoğunlaştırıcıya Sahip Hücreler

Gelen güneş ışığını 10-500 kat oranlarında yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'i geçebilmektedir. Pil verimi ise %30'u aşmaktadır. Yoğunlaştırıcıların yapımında kullanılan malzemeler basit ve ucuz plastik malzemelerdir (Ulu, 2010).

3.2.4 Güneş Pili çeşitleri

Günümüzde, PV hücreleri araştırmalarını aşağıdaki gibi inceleyebiliriz.

1. Kristal silikon PV hücreler

- Tek-kristal (monokristal) PV hücreler (c-Si)
- Çoklu-kristal (polikristal) PV hücreler (mc-Si)
- Kristal yapılu güneş pilleri

2. İnce film PV hücreler

- Kadmiyum Tellür (CdTe) PV hücreler
- Bakır İndiyum Galyum (di)Selenyum (CIGS) PV hücreler
- Amorf Silikon PV hücreler (a-Si)

3. III-V grubu PV hücreler

- Çok eklemlili Hücreler
- Kuantum Kuyulu hücreler

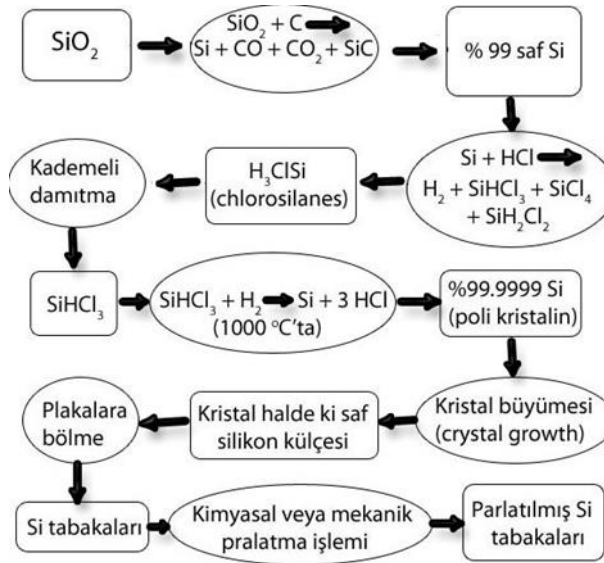
4. Ar-Ge aşamasında olan diğer PV hücreler

3.2.4.1 Kristal Silikon PV hücreler

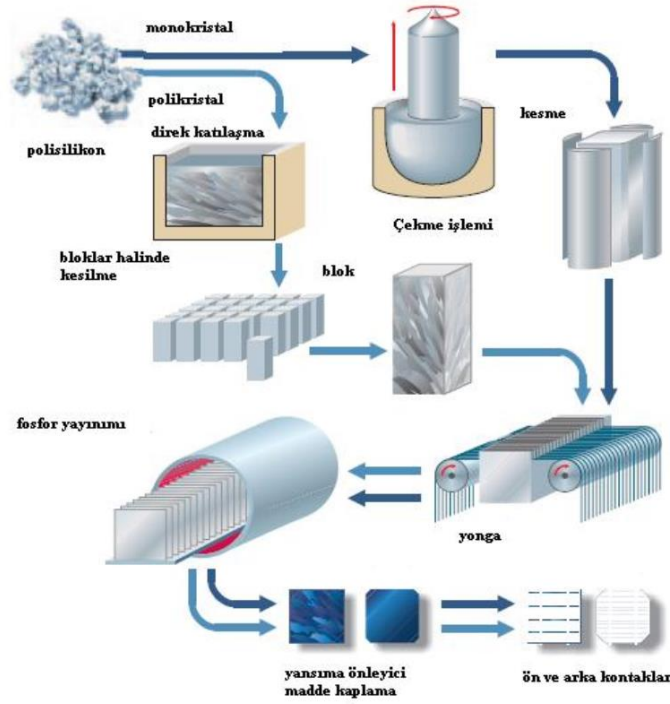
Kristal silikonlu yapıların en önemli ham maddesi olarak silisyum rahatlıkla gösterilmektedir. Silisyum en popüler madde olarak göze çarpmaktadır bunun nedenleri arasında aşağıdaki maddeleri sayılabilir. Diğer taraftan saf kristal malzeme üretimi için oldukça zor ve pahalı bir teknoloji gereklidir.

- Silisyum atomunu optik olması.
- Elektriksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi
- Silisyum malzemesinin üretiminde gelinmiş olunan üstün teknoloji gibi özellikler silikon sisteminin daha çok seçilmesini sağlamıştır.

Silisyum oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan elementtir. Fakat buna rağmen güneş hücrelerinde Silisyumu kullanabilmek için birtakım işlemlerden geçmek zorundadır. Silisyum doğada saf kimyasal formda bulunmamaktadır. Bundan dolayı ilk olarak yüksek sıcaklık gerektiren ısı işlemleri uygulayarak silisyumu silikon dioksit (kuartz) bileşiminden ayrılır. Bu işlemde sonra elektronik işlemler için gerekli saflığa ulaşabilmesi için metalürjik silikonun saflığı artırılır. Bu işlemlerin ardından elde edilen yüksek kalite ve saflıktaki silikon maddesi güneş pili hücrelerinin üretiminde kullanılmaktadır (Url-4, 2019). Şekil 3.6'da saf silisyum elde etme işlemleri, Şekil 3.7'de ise Kristal hücre üretimi işlem basamakları ise gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Saf silisyum elde etme için işlemler (Url-4, 2019)



Şekil 3.7: Kristal hücre üretimi işlem basamakları (Girgin,2010)

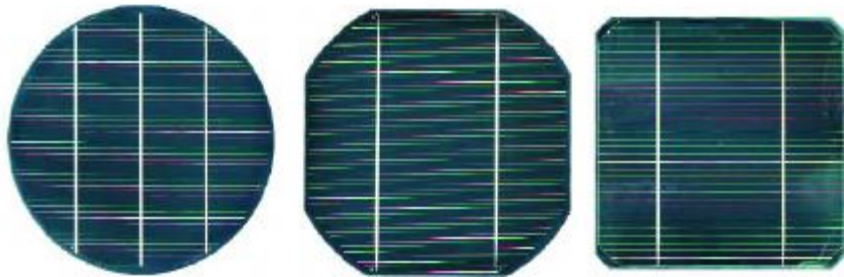
3.2.4.1.1 Monokristal Güneş Hücreleri (mono-Sİ)

Monokristal güneş pilleri en eski güneş pili teknolojisidir. Buna ek olarak en pahalı güneş pili teknolojisi olarak gösterilmektedir. Fakat tüm bunlara rağmen bu güneş pili tekniği en yüksek verimliliğe sahip hücreleri bünyesinde barındırmaktadır. Bu güneş pillerinde gözeler büyük kristal parçalardan ince silikon tabakalar halinde kesilmesiyle oluşturulur. Verimleri laboratuvar ortamında %40 değerlerine ulaşmasına rağmen ticari sistemlerde verimleri %15-%20 değerleri arasında performans göstermektedir. Verim değerlerine göre amorti etme süreleri 2-6 yıl arasında değerlerdedir. Bu sistemler 20 yıllık bir süre zarfında %7'lik bir verim kaybına uğramaktadır (Url-4,2019).

Bu hücrelerin yapıları homojen olup renkleri ise aşamalı şekilde koyu maviden siyaha doğru değişmektedir. Boyutları konusunda ise 4-5-6 inç gibi değerlere sahip olduğu söylenebilmektedir. Şekilleri ise dairesel, kare ve yarı köşeli gibi geometrik şekiller olabilmektedir. Monokristal hücre üretimlerinde çeşitli sorunlar bulunmaktadır. En önemlilerinden bir tanesi yüksek malzeme kaybı olmasıdır. Bu

malzeme kaybı özellikle ısıtıl işlem yapıldıktan sonra yapılan dilimleme işleminde yüksek hacim kayıpları olmaktadır. Bu sorun ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır (Url-4, 2019).

Monokristal silikon üretiminde kullanılan metodun ismi “Czochralski Metodu” olarak bilinmektedir. Bu metod çok yüksek sıcaklıklarda işlem gerektirir. Boyu birkaç metre olan 300 mm çapına sahip tek kristalli silikon silindirler oluşturulmakta daha sonra bu elde edilen silindirler 0,15-0,2 mm kalınlığa dilimlenmektedirler. Pahlama işlemi gerek dörtgen gerek dairesel veya çokgen şekillerde yapılır. İşlemler sonucunda plakaların ‘p tabakası’ hazır olmaktadır, ‘n tabakası’ ise fosfor difüzyonu ile oluşturulmaktadır. Hücrelerin elektrik akım yolu ortaya çıkması için ön ve arka kontak noktaları bağlanır. Son işlem olarak ön yüzey kısma yansıma önleyici malzeme ile kaplanır bu kaplama hücrenin üzerine gelen güneş ışınlarının yansımalarını engelleyecektir. Bu metod genellikle transistor ve entegre üretiminde kullanılmaktadır. Bu üretim şekli yaygın olarak kullanılmaktadır çünkü bu bağlamda bilinen en güvenilir üretimi tekniğidir (Girgin, 2010). Şekil 3.8’de monokristal hücre örnekleri yer almaktadır.



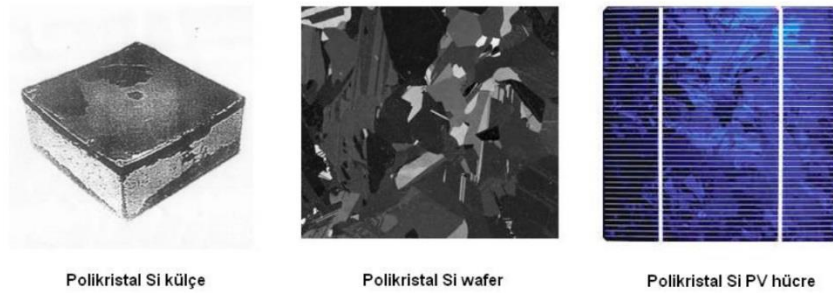
Şekil 3.8: Monokristal hücre örnekleri (Girgin, 2010)

3.2.4.1.2 Polikristal Güneş Hücreleri (poly-si)

Monokristal ve polikristal silisyumlarının başlangıç malzemeleri aynı şekilde hazırlanmaktadır. Bulunması gereken saflık derecesi de birbirlerine yakın seviyededir. Polikristal silisyum üretirken en çok kullanılan teknik “dökme” tekniğidir. Ergimiş halde bulunan yarı iletken kalitesindeki silisyum kalıplara dökülür ve soğumaya bırakılır ardından elde edilen bloklar kare şeklinde kesilmektedir. Polikristal

hücrelerin üretim metodu monokristal hücreler kadar hassasiyet gerektirmediğinden daha ucuzdur fakat verim olarak daha aşağıda verim değerlerine sahip verim değerleri %12-%15 arasında değişmektedir. Laboratuvar ortamında %16 değerini aşan verimler elde edilmiştir. İlk yatırım maliyetlerini 2-5 yıl arasında karşılamaktadır. 20 yıllık süre içerisinde meydana gelen verim kaybı %14 değerini bulmaktadır. Verimlerinin düşük olması sebebi kristal yapılarının kısmen düzgün olduğu için daha az voltaj taşımalarıdır. Verimleri düşük olmasına rağmen alınan verime göre hesaplamalar yapıldığından kullanımı oldukça yaygındır. (Url-4, 2019)

Polikristal hücrelerin yapıları çok kristallidir. Işık yansıma yaptığı zaman ışığın kırılmaları gözlemlenebilmektedir. Bu yansımayı engellemek için kaplama kullanılmaktadır. Anti reflektif kaplama kullanılmakta olup bu kaplamanın etkisi ile kaplanmış hücreler mavi renkte olmaktadır. Kaplanmamış hücrelerin renkleri gridir. Şekil 3.9'da polikristal hücreler yer almaktadır.



Şekil 3.9: Polikristal hücreler (Girgin, 2010)

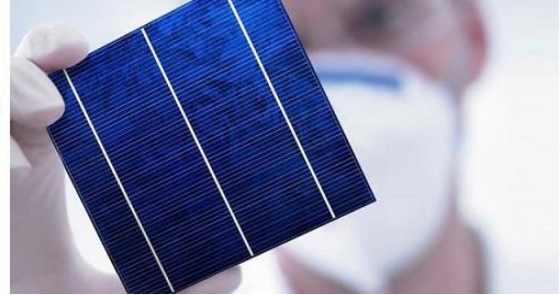
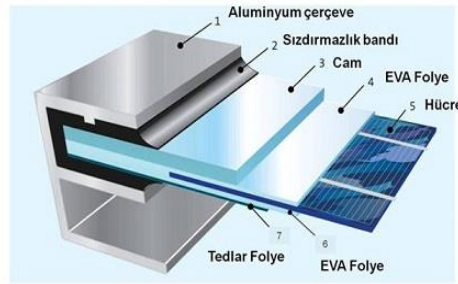
3.2.4.1.3 Kristal Yapılı Güneş Panelleri

Üretilmiş olan polikristal ve monokristal hücreler birbirlerine seri veya paralel olarak bağlandıktan sonra monokristal ve polikristal güneş panellerini oluşturmaktadır. Monokristal veya polikristal hücreler elde edilmek istenen akım, gerilim ve güç değerlerine ulaşmak için seri veya paralel olarak birbirlerine bağlanırlar. Robotlar vasıtasıyla kristal yapıları güneş panellerindeki hücrelere lehim işlemi uygulanmaktadır. Lehim işleminin ardından hücreler hazır halde soğurma özelliği ekstrem değerlerde olan temperlenme işlemi uygulanmış camın üzerine serili

olan etilen vinil asetat (EVA) üzerine yerleştirilir ve buna kez olarak son birleştirme işlemleri uygulanır (Girgin, 2010).

Etilen vinil asetat (EVA) malzemesi hücreleri dış etkenlere karşı korumakta olan polimer malzeme olarak adlandırılmaktadır. Hücreler hem ön hem arkadan olmak üzere etilen vinil asetat (EVA) ile kaplanmaktadır. Kaplama şekli olarak bu şekilde sandviç usulü kaplama denmektedir. Bu işlemlerin ardından etilen vinil asetat (EVA)'nın üzerine de TEDLAR adı verilen arka kılıf serilecektir. Bu malzeme güneş panelini UV ışınları, yüksek sıcaklık ve nem gibi birçok etkene karşı korumakla beraber güneş panelini daha uzun zaman zarfları kalmasına olanak sağlar.

EVA ve TEDLAR (arka kılıf) tarafından koruma altına alınan kristal hücreler, özel laminatörler içinde belirli süreler yüksek sıcaklık değerleri ve yüksek basınç değerlerinde bekletildikten sonra bu hücreler korucu malzemeler tarafından sarılmaktadırlar. Ardından bağlantı kutusu denilen materyal panele yerleştirilir. Bu bağlantı kutusu, laminasyon işleminin ardından yerleştirilir ve gölgelenme etkilerinin en düşük değere indirmek için kullanılan By-Pass(atlama) diyotları içerir. Tüm bu işlemlerin ardından güneş panelleri bir güç üretici haline almaktadır. Şekil 3.10'da güneş paneli içeriği ve bitmiş bir paneli hücresi görülmektedir (Girgin, 2010).



(a)

(b)

Şekil 3.10: a) Güneş paneli içeriği b) Bitmiş bir güneş paneli hücresi (Girgin, 2010)

3.2.4.2 İnce Film PV Hücreler

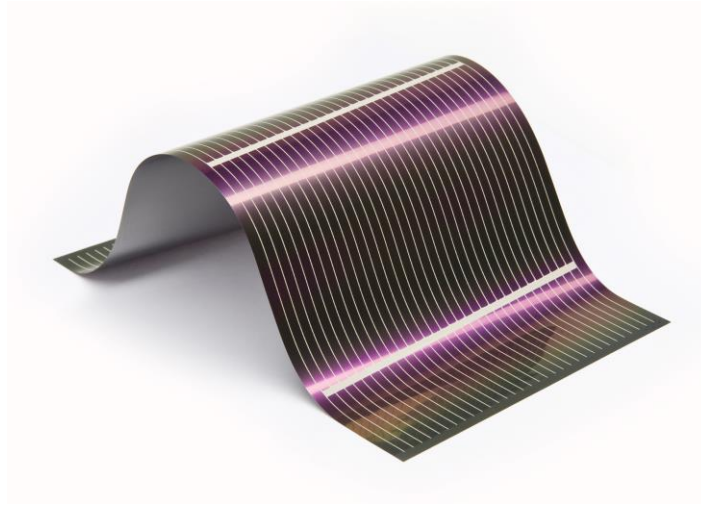
1990'lı yılların ortalarında başlamak üzere güneş hücre üretimlerinde yeni bir model geliştirilmiş bu model fotoaktif yarı-iletken malzemelerin cam veyahut benzer geniş yüzeyler üzerine ince film halinde kaplaması yöntemidir ve farklı karakteristik özellikli hücreleri üretilmesi olanağı kazandırmıştır. Bu çerçevede yapılan çalışmalar ve ar-ge çalışmaları sayesinde güneş hücresi üretiminde kullanılması mümkün birçok yarı iletken malzemenin ucuz maliyetlerde cam, plastik folyo veya metal tarzı tabakalar üzerinde geniş yüzeylerin kaplama işlemi yapılabileceği görülmüştür (Url-3, 2019).

İnce film hücrelerde fotovoltaiik malzemeler sıklıkla çok kristalli malzemelerden meydana gelmektedir ve bunun anlamı ince film yarıiletken malzemelerin büyüklükleri mikrometreden başlayarak manometreye değişebilen damarlardan oluşmaktadır. Yarı iletken malzemelerde elektriksel optiksel ve yapısal özellikleri açısından her bir damar içerisinde fotovoltaiik uygulamalar için çok uygun olmasına rağmen damarları arasındaki sınırlarda yer almakta olan mikro düzeydeki yapısal kusurlar, çok kristalli malzeme de karşılaşılan en büyük sorun olarak belirtilmektedir. İnce film fotovoltaiik malzemelerin kalınlıkları silisyum yapılı güneş hücrelerine kıyasla çok daha az miktardadır. Özellikleri optik açıdan uygun olan bir yarı iletken malzeme de milimetrenin binde biri kadar bir kalınlık içinde güneş ışınlarının neredeyse tamamı soğurulabilmektedir. Buna ek olarak ince film yarı iletken malzemeler istenilen bir biçimde birçok farklı şekilde birçok malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilmektedir (Url-4,2019).

Bu hücrelerin önemli özellikleri arasında sıcaklıkla verim düşümünün silikon yarı iletken malzemelerdeki verim düşümünden daha az olmasıdır. Bu anlamda ince film güneş panelleri yıl genelinde sıcaklık ortalamalarının yüksek olduğu coğrafyalarda tercih nedeni olmuştur. Tüm bu özelliklere rağmen saha şartlarında uzun süreler alınamaması bu güneş pillerine kuşku ile yaklaşılmamasına neden olmuştur. İnce film güneş panellerini 3 seçenekle inceleyebilmek mümkündür. (Girgin, 2010)

3.2.4.2.1 Amorf(amorphous-a-Si) İnce Tabaka Güneş Pilleri

Bu tür ince film güneş hücrelerinde verim %8-%10 değerleri arasında olmaktadır. Teorik olarak ise %27'lik verim vardır. Maliyetini geri ödeme açısından 1,5-3,5 yıl arası süreler belirtilmiştir. Bu güneş pillerinde zaman içerisinde %21'lik verim düşümleri gerçekleşmektedir. Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerektirmektedir fakat üretim süreci ucuz olduğu için firmalar bu hücre tipine de yönelmektedir. Şekil 3.11'de amorf-silikon güneş pil örneği gösterilmiştir (Url-4, 2019)



Şekil 3.11: Amorf ince tabaka güneş pil örneği gösterilmiştir (Url-4, 2019)

3.2.4.2.2 Cadmiyum telluride (CdTe) ince film güneş pilleri

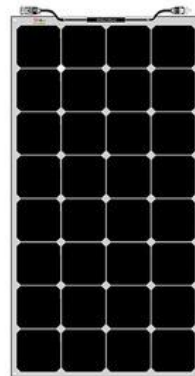
Bu tür ince film güneş pilleri maliyet açısından uygundur. 1cm^2 'lik alanda %17'lik bir verime ek olarak 8390cm^2 'lik alanda ise %11'lik bir verim elde edilmiştir. Bu sistemler sadece rijit cam ile kullanılabilir. Şekil 3.12'de kadmiyum tellür güneş paneli örneği gösterilmiştir (Url-4, 2019)



Şekil 3.12: CdTe ince film güneş pilleri (Url-15, 2019)

3.2.4.2.3 CIGS (Copper indium gallium (di)selenide, Bakır indiyum galyum diselenyum) güneş pilleri

Bu ince film güneş pillerinde ise verim %11-%14 değerleri arasındadır. Hali hazırda artmakta olan bir Pazar payına sahiptir. Cam yüzey veya esnek yüzey ile beraber kullanılma özelliğine sahiptir. Pahalı üretim sürecine ek olarak geniş alan gereksinimi bulunmaktadır. Şekil 3.13’de CIGS güneş pilleri örneği gösterilmiştir (Url-4, 2019)



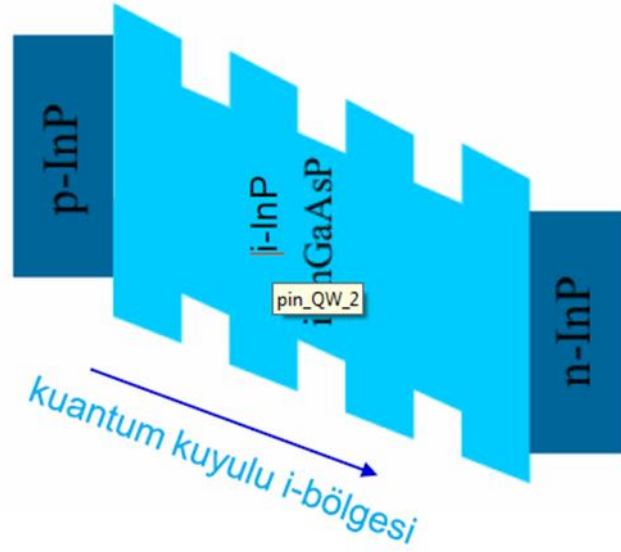
Şekil 3.13: CIGS ince film güneş pilleri gösterilmiştir (Url-4, 2019)

3.2.4.3 III-V grubu PV hücreler

Bu grup güneş pilleri kuantum kuyulu hücreler ve çok eklemlili hücreler olarak iki başlığa ayrılmıştır.

3.2.4.3.1 Kuantum Kuyulu PV Hücreler

Büyük bant aralığına sahip yarı-iletken malzemelerin içerisinde, küçük bant aralığına sahip malzemelerin çok ince katmanlar halinde üretilmesi ile edilirler. Burada hedeflenen ise küçük bant aralığına sahip olan malzemelerin soğurma özelliği ile fotoakımının artması ve çıkış gerilimindeki değerin azalmamasıdır. Kuantum kuyulu güneş pilleri (QWSC) laboratuvar şartlarında verim sınırı olarak %44 civarı değerlerindedir. Şekil 3.14'de kuantum kuyulu PV hücreler gösterilmiştir (Url-3, 2019)

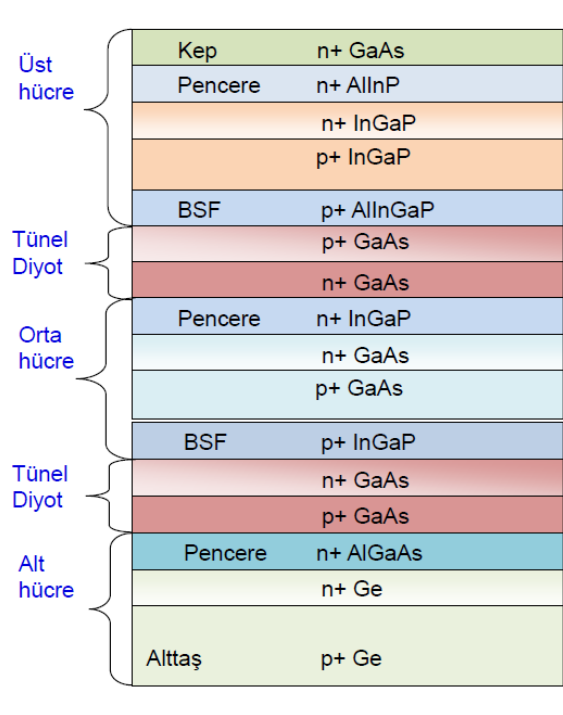


Şekil 3.14: Kuantum kuyulu PV hücreler gösterilmiştir (Url-3, 2019)

Kuantum kuyuları özellikler fotovoltaik(PV) cihazlarında performans artırma amacıyla ve solar spektrumun iyi uyumunu elde etmek amacıyla çok katmanlı yapı içerisine yanı p-n eklem içerisine yerleştirilirler. QWSC teknolojisi yüksek dönüşüm verimliliğine sahip cihazların geliştirilmesinde önemli bir adaydır.

3.2.4.3.2 Çok Eklemlı PV hücreler

Çok eklemlı güneş hücreleri, p-n eklemlerinin üst üste konulması yöntemiyle oluşturulurlar. Çok eklemlı olan ardışık güneş pilleri ise farklı bant aralığına sahip malzemelerin üst üste konulması yöntemiyle oluşturulurlar. Bu hücrelerde hedeflenen unsur verimin optimum değeri için fotovoltaik hücrenin üzerine gelen güneş spektrumunu maksimum düzeyde soğurmasıdır. Bundan dolayı çok eklemlı yapıyı oluşturan hücrelerin bant aralıklarını bu büyük spektrumu kapsamaları istenir. Çok eklemlı PV hücreler yapısı Şekil 3.15’de gösterilmiştir (Url-3, 2019).

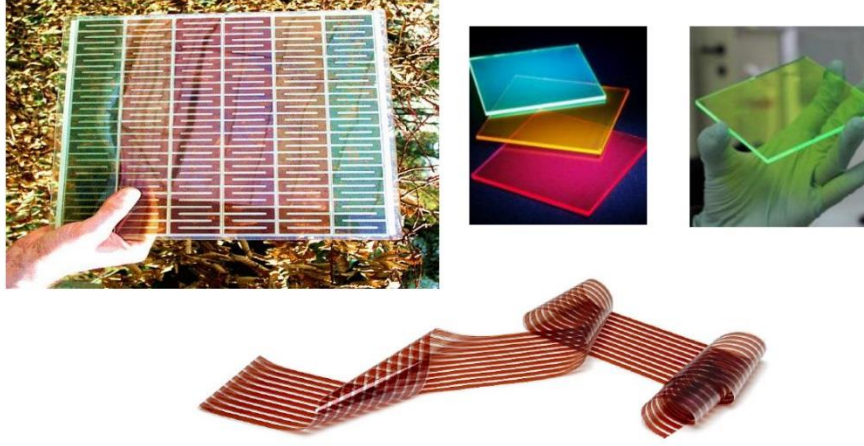


Şekil 3.15: Çok eklemlı PV hücreler (Url-3, 2019)

Günümüzde üretilmekte olan üç eklemlı yapıların içerisinde GaInP (1.9eV), GaAs (1.4eV) ve Ge (0.7eV) kullanılmaktadır. Sistemde tek altaş’ın üst kısmında farklı yarı-iletken katmanların doğrudan olarak büyütülme işlemi yapıldığı çok eklemlı güneş hücrelerinde de optik geçirgenliğin ve maksimum akım iletkenliğinin sağlanmasını sağlamak için tüm katmanların kristal yapılarının uyumlu olması şarttır. Eklemlerin ayrı ayrı ürettiği akımların en küçük olanı, çok eklemlı güneş pilinin çıkış akımını belirler; bundan dolayıdır ki bu hücrelerdeki seri yapı akım uyumunu kaçınılmaz bir öge olarak kılmaktadır. Güneş ışınımını yoğunlaştırarak %43 dönüşüm verimliliğe sahip güneş hücreleri üretilebilmektedir (Url-3, 2019).

3.2.4.4 Ar-Ge Aşamasında olan Diğer PV hücreler

Yeni nesil geliştirilmekte olan PV hücreleri olarak; organik PV hücreleri, tandem (ardışık eklemli) PV hücreleri, kuantum kuyulu PV hücreler örnek gösterilebilir. Araştırmaları devam eden bu teknolojiler henüz ticari safhaya geçiş aşamasında bulunmaktadır. Organik PV hücreleri düşük maliyetler için umut verirken düşük verimleri ve ömür süresi problemlerinin çözümü için ar-ge çalışmaları yapılmaktadır. Çok eklemli güneş hücreleri ise ulaştıkları yüksek verimden dolayı ilgi odağı haline gelmiş bulunmaktadır. Şekil 3.16'da Ar-ge aşamasındaki PV hücreler gösterilmiştir (Url-3, 2019).



Şekil 3.16: Ar-ge aşamasındaki PV hücreler

3.2.5 Güneş pili kullanım alanları

Dünyada birçok alanda güneş pili kullanılmaktadır. Bu alanlara

- Trafik işaret lambalarının
- Cep telefonlarının şarj edilmesi
- Bahçe aydınlatması
- Sokak aydınlatması
- Güneş arabaları
- Uçaklar
- Hesap makineleri

- Saatler
- Yapay uydular
- Güneş kuleler
- Yemek pişirilmesi
- Giysi ve çantalar, örnek olarak gösterilebilir.

3.3 Güneş Enerjisi Sistemlerinde Enerji ve Ekserji Analiz Hesabı

Bir güneş pili paneli sistemi için kontrol hacmine giriş çıkış yapan bir kütle ol olmadığından dolayı bu durum (3.1) ile ifade edilir:

$$\dot{m}_{giren} = \dot{m}_{çıkan} \quad (3.1)$$

Kontrol hacmine giriş veya çıkış yapan kütle olmadığı için, ilk ve son durum kütleleri sabit ve eşit olmaktadır. Bu bilgiler eşliliğinde güneş pili panellerinin ekserji dengesi (3.2) 'deki gibi ifade edilir (Ulu, 2010):

$$\sum \dot{E} x^W - \sum \dot{E} x^Q + T_0 \dot{S}_{gen} = 0 \quad (3.2)$$

$\sum \dot{E} x^Q$ Şeklinde ifade edilen seri üç ekserji türünün toplamına eşittir bunlar; termal ekserji, güneş ekserjisi ve ısı kaybı ekserjisidir. Güneş enerjisi güneş pili panellerine ulaştığında ekserji transferine sebep olur. Bu ekserji transferi (3.3) ile hesaplanabilmektedir (Ulu, 2010):

$$\dot{E}_{x_{Q,solar}} = S_T A \left(1 - \frac{T_{çevre}}{T_{güneş}} \right) \quad (3.3)$$

S_T : Güneş pili panellerinin yüzeyine düşen güneş ışınımı miktarı (W/m^2)

A : Güneş pili panellerinin efektif yüzey alanı (m^2)

$T_{çevre}$: Çevre sıcaklığı (K)

$T_{güneş}$: Güneşin sıcaklığı olup hesaplamalarda yaklaşık olarak 6000 K alınır (Würfel, 2005)

Güneş pili panellerine ulaşan güneş ekserjisini bulmak için Petela'nın (2003) ifade ettiği (3.4)'tür:

$$\dot{E}x_{Q,solar} = S_T A \left(1 - \frac{4T_{\text{çevre}}}{T_{\text{güneş}}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{\text{çevre}}}{T_{\text{güneş}}} \right)^4 \right) \quad (3.4)$$

Isı kaybı ekserjisinin diğer bir ifade ediliş şekli ekserji yıkımıdır ve güneş panellerinden çevreye geçen ısı olarak tanımlanmakta olup, (3.5) ile hesaplanabilmektedir (Ulu, 2010):

$$\dot{E}x_{Q,solar} = U_L A (T_{\text{hücre}} - T_{\text{çevre}}) \left(1 - \frac{T_{\text{çevre}}}{T_{\text{hücre}}} \right) \quad (3.5)$$

U_L : Isı kayıp katsayısı (W/m²K)

Isı kayıp katsayısı ise (3.6) ile hesaplanabilmektedir (Ulu, 2010):

$$U_L = h_{\text{konv}} + h_{\text{rad}} \quad (3.6)$$

Burada ' h_{konv} ' ile gösterilen ısı taşınım katsayısıdır (3.7) ile gösterilmektedir (Sarhaddi, 2009):

$$h_{\text{konv}} = 2.8 + 3V_w \quad (3.7)$$

V_w : Rüzgâr hızı (m/s)

(3.8) ise PV paneller ile panelin bulunduğu çevre arasında bulunun ışıyım katsayısının hesaplanması işleminde kullanılır:

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon_g \sigma (T_{\text{gökyüzü}} + T_{\text{hücre}}) (T_{\text{gökyüzü}}^2 + T_{\text{hücre}}^2) \quad (3.8)$$

ε_g = PV panel emisivitesi

σ = Stefan-Boltzmann sabiti (5.67×10^{-8} J/s.m²K⁴)

Panel emisiviteleri PV paneller için hangi tür PV panel olduğuna göre değişen katsayılar bulunmaktadır. Efektif gökyüzü sıcaklığı olan $T_{\text{gökyüzü}}$ (3.9) ile hesaplanmaktadır.

$$T_{\text{gökyüzü}} = T_{\text{çevre}} - 6 \quad (3.9)$$

Güneş pili panelleri tarafından gerçekleşen ekserji transferi, PV modüller ile üretilen maksimum seviyede elektrik olarak üretilir (3.10) ile hesaplanabilmektedir (Joshi, 2011) (Ulu,2010):

$$\sum \dot{W} = V_{mp} I_{mp} \quad (3.10)$$

(3.11)'i kullanılarak kontrol hacmindeki ilk ve son durum kütlelerinin ekserji değişimi hesaplanabilmektedir:

$$\dot{E}_{x_{g,s}} - \dot{E}_{x_{g,b}} = \frac{m_{PV,hücre} C_{p,hücre}}{\Delta t} \left(T_{hücre} - T_{çevre} - T_{çevre} \ln \left(\frac{T_{hücre}}{T_{güneş}} \right) \right) \approx 0 \quad (3.11)$$

(3.11) 'nin sağ tarafında bulunan ilk terim; fiziksel ekserji değişimi ifade etmektedir. Onu takip eden ikinci terim ise PV modüllerindeki kimyasal değişimlerden dolayı meydana gelen ekserji değişimini ifade etmektedir. Bu iki terim de yaklaşık olarak birbirlerine eşittir ve bu nedenle iki terimin toplamı neredeyse sıfırdır.

Bir güneş pili paneli için ekserji verimi hesaplanacak olursa; pay olarak sistem tarafından gerçekleşen ekserjiyi payda olarak sisteme gerçekleşen ekserjinin yazılması gereklidir. (3.12) 'de sistem tarafından gerçekleşen ekserji ifadesi bulunmaktadır. (Joshi, 2011) (Ulu,2010):

$$Ex_{ç} = I_{mp} V_{mp} - \left(1 - \frac{T_{ç}}{T_{hücre}} \right) [h_c A (T_{hücre} - T_{ç})] \quad (3.12)$$

Güneş enerjisi güneş pili panellerine ulaşır ve panellerde ekserji transferi gerçekleştirir. Oluşan ekserji transferi (3.13) 'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir (Joshi, 2011) (Ulu, 2010):

$$Ex_g = S_T A \left(1 - \frac{T_{ç}}{T_{güneş}} \right) \quad (3.13)$$

(3.4) ile (3.13) arasındaki denklemler kullanılır ve güneş pili panellerindeki ekserji verimi Denklem (3.14) 'deki gibi hesaplanabilmektedir. (Joshi, 2011) (Ulu, 2010):

$$\psi_{PV} = \frac{I_{mp}V_{mp} - [h_c A(T_{hücre} - T_ç) \left(1 - \frac{T_ç}{T_{hücre}}\right)]}{S_T A \left(1 - \frac{T_ç}{T_{güneş}}\right)} \quad (3.14)$$

(3.15) de ise enerji verimi denklemi yer almaktadır.

$$\eta_{PV} = \frac{W_{PV}}{S_T A} \quad (3.15)$$

Bulutluluk oranı(k) verileri ektraterrestrial güneş ışınımının belirtilen bir yere düşme oranını belirtir ve 'k' değerinden PV panellerinin yüzeyine ulaşan toplam güneş ışınımlarının elde edilmesinden faydalanılır. Yatay yüzeylere ulaşan toplam güneş ışınımları, (3.16)'da gösterildiği üzere iki ayrı şekilde direkt ve difüz güneş ışınımından oluşmaktadır (Duffie ve Beckman, 2006)

$$\bar{S}_T = \bar{S}_{Tb} + \bar{S}_{Td} \quad (3.16)$$

Burada \bar{S}_T kısmı yatay yüzeye düşen toplam güneş ışınımını ifade ederken \bar{S}_{Tb} kısmı yatay düzeye düşen direkt güneş ışınımını ifade etmektedir ve son kısımdaki \bar{S}_{Td} ise yatay düzeye düşen difüz güneş ışınımını ifade etmektedir. Güneş ışınımı ölçümlerinde büyük olasılıkla işlemlerde yatay yüzeye düşen yani toplam güneş ışınım kullanılmaktadır. Fakat direkt ve difüz güneş ışınımları toplam değeri bulmak için elde edilmesi gerekmektedir. Bu değerlerin elde edilmesinde (3.17) kullanılabilir (Yılcı, 2008).

$$\frac{\bar{S}_{Td}}{\bar{S}_T} = \{f(x) = \left\{ \begin{array}{l} 1 - 0.09k \\ 0.9511 - 0.1604k + 4.388k^2 - 16.638k^3 + 12.336k^4 \\ 0.165 \end{array} \right. \quad (3.17)$$

Eğimli bir yüzeye olan PV panellerinin üzerine düşen toplam güneş ışınımlarını ise (3.18) ile bulunabilir. (Duffie ve Beckman, 2006) (Yılcı, 2008).

$$S_T = (\bar{S}_{Tb} + \bar{S}_{Td})R_b + \bar{S}_{Td}(1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) \left[1 + f \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right] + \bar{S}_T \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right) \quad (3.18)$$

$$\left(R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right)$$

Burada R_b yatay yüzeye düşen doğrudan güneş ışınımının eğimli yüzeye düşen doğrudan güneş ışınımının oranına eşittir. ‘ f ’ ise aydınlık faktörü olarak tanımlanmaktadır. Aydınlık faktörü difüz ışınımının en çok geldiği yatay düzlemi dikkate almak için kullanılmaktadır.

(3.19), aydınlanma faktörünün bağıntısını göstermektedir.

$$f = \sqrt{\frac{S_{Tb}}{S_T}} \quad (3.19)$$

Burada β eğimli yüzeyin yatayla yaptığı açı (45°) olmaktadır. ρ_g ise yüzey yayılım oranıdır (%) ve bu çalışmada genel bir değer alınmıştır bu genel değer %20 değeridir. (Duffie ve Beckman, 2006) (Yılancı, 2008). Denklem (3.18) kullanılarak, PV panellerinin yüzeyine düşen toplam güneş ışınım miktarlıları hesaplanmış olup ilgili Şekillerde gösterilmiştir.

$$T_{cell} = T_{air} + \frac{S_T}{800} (T_{std} - 20) \quad (3.20)$$

Burada T_{cell} , PV panellerinin yüzey sıcaklığını belirtir. T_{air} ise dış ortam sıcaklığıdır. T_{std} standart koşullardaki PV panellerinin yüzey sıcaklığını göstermektedir. T_{std} , bu çalışmada üreticinin belirlediği değerler olan sıcaklık değerleri seçilen ürünlerin kataloglarından alınmıştır. PV panellerinden üretilen elektrik için panellerinden kablolamasından kir ve diğer olumsuz etmenlerden kaynaklanabilecek üretim düşümünü spesifik olarak %15 oranından alınmıştır ve hesaplarda birbirine bağlı 10 adet güneş paneli olduğu varsayılarak güç hesapları yapılmıştır.

4. GÜNEŞ PİLLERİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Tezin bu kısmında yapılmış olan güneş pillerindeki yaşam döngüsü analizini daha iyi anlamak için öncelikle yaşam döngüsünü analizini tanıtip literatürdeki yerinin anlatıp nasıl uygulandığı hakkında bilgiler verilmiştir. Sonrasında daha önce yapılmış düzeneklerde monokristal, polikristal ve ince film (thin film) güneş paneli sistemleri kıyaslanmıştır.

4.1 Yaşam Döngüsü Analizi

Yaşam döngüsü analizi ilk olarak 1960'ların sonunda yapılmış olup gelişen dünya düzeni dolayısıyla artan üretim miktarlarının etkisiyle 1990'lı yıllardan itibaren düzenli olarak arzı artan ve sürekli geliştirilen bir yöntem olmuştur. Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (SETAC) yaşam döngüsü analizinden “gerçekleştirilen bir işlem ya da faaliyetin gerçekleştiği süreç boyunca etkilediği çevresel gelişmeleri objektif olarak değerlendiren bir işlem” olarak bahsetmektedir. Yaşam döngüsü analizi bu objektif işlemi yaşam süreci boyunca tüm boyutlarıyla ve detaylı olarak incelemektedir (Irbaş, 2018).

Bu analiz ürünlerin veyahut süreçlerin yaşam döngüsü süresince bütün çevresel etkileri ölçme yeteneği olan totaliter bir yaklaşımdır. Bu analize tam anlamıyla bir araç demek doğru olmaz yaşam döngüsü analizi çevrenin veya ürünün etkilediği çevre için yapılan temeli bilime dayanan bir değerlendirme metotudur.

Kimi kaynaklarda ilk çalışma, kimi kaynaklarda ise ilk çalışmalardan biri olarak kabul edilen 1969 yılında “The Coca-cola Company” için yapılan çalışma ABD'nin Yaşam Döngüsü Envanterinin temel taşlarını oluşturmuştur. Daha sonra bu çalışma ile Avrupa ve ABD geneline yayılmış ve diğer şirketlerce uyum sağlanmıştır. Bu gelişmeler sadece şirketlerce değil insanların daha temiz bir çevre isteme veya kamu kuruluşlarının daha etkin uygulamalar için ettiği talepleri etkili olmuştur (Aktaş, 2015).

Yaşam döngüsü analizi aşağıdaki maddelerce kullanılmakta olduğunu ifade edilebilir.

- Özel sektörlerde ya da kamu sektöründe, öncelik belirleme işlemlerinde, planlamaların stratejisinde, hizmetler ve ürünlerin tasarımında ve hali hazırda bulunan tasarımların güncellenmesine karar işlemi yapılırken
- Çevresel performans etkileyici göstergelerle kamu politikası oluşturulurken.
- Bir hizmet veya ürünün farklı yaşam döngüsü aşamalarında çevre ile ilişkisinin tanımlanarak bahsedilen ürün veya hizmetin geliştirilmesi ve iyileştirilmesine karar verirken (Zerdalı, 2016).

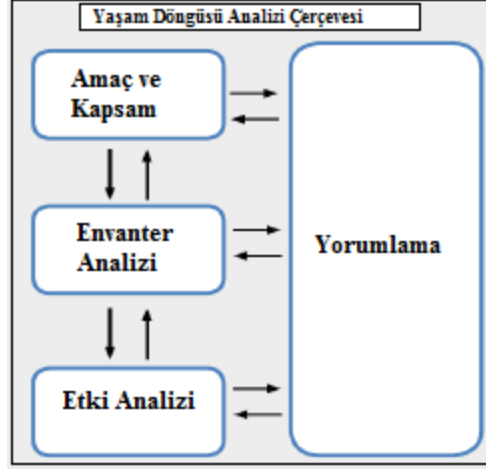
Yaşam döngüsü analizinin sistem sınırı, çalışmada bulunan süreçler içerisinde hangi sürecin ürünün sisteminin bir bölümü olduğunu belirlenmesi işlemidir. Çalışmanın sistemi, sistem sınırındaki envanter girdi ve çıktılarının akış diyagramları şeklinde tasarlanmaktadır. Sistem sınırı içerisinde bulunan her süreç için toplanan veriler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Zerdalı, 2016):

- 1) Enerji ve hammadde girdileri
- 2) Ürünler ve atık oluşumu
- 3) Emisyon oluşumu

4.1.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Metodolojisi

Yaşam döngüsü analizinin metodolojisi Şekil 4.1’de gösterildiği gibi metod Kısım 4 aşamadan gerçekleşmektedir.

- Amaç ve kapsam
- Envanter analizi
- Etki analizi
- Yorumlama



Şekil 4.1: Yaşam döngüsü Analizi Metodolojisi (Aktaş, 2015)

4.1.1.1 Amaç ve Kapsam

Bu aşama yaşam döngüsü aşamasının ilk bölümüdür. Bu kısımda çalışmaların kapsamı, sınırları, amaçları ve detaylandırma düzeyi belirlenir. Bu kısım kaynakları ve ihtiyaç olan zamanı belirleyerek tüm analiz aşamalarına yola göstererek güvenli ve faydalı sonuçların çıkmasında faydalıdır. Bu kısımda alınan kararlar çalışmanın devamını büyük ölçüde etkiler. Yaşam döngüsü analizi tekrarlanabilen bir metot olduğu için ek bilgilere ve çalışmanın kapsamına tekrar tekrar göz atmakta fayda vardır (Morsali, 2017).

4.1.1.2 Envanter Analizi

Bu aşama yaşam döngüsü aşamasının ikinci bölümünü oluşturmaktadır. Bu kısımda üzerinde çalışılan ürünün veya hizmetin belirlenmiş sınırları içerisinde ilgisi bulunan enerji, su, malzemeler ve ek olarak bunlarla ilgili çevreye bağlı girdiler ve çıktılar (çevresel emisyonlar) toplanır. Bu kısmı gerçekleştirirken en kaliteli verilerin toplanması gerekmektedir. Ele alınan verilerin kalitesi, kesinlik, bütünlük, tutarlılık, tekrarlanabilirlik ve temsil edilebilirlik kriterleri dikkate alınarak değerlendirme işlemi yapılmalıdır.

Bu bölümde karşılaştırmalar veya potansiyel değişiklikler ele alınamaz. Toplanan veriler kesin bilgiler olmalıdır. Verilerin doğruluk düzeyleri ve detayları diğer aşamalarını doğruluk payını ve elde edilen sonuçların kullanılabilirliğini doğrudan doğruya etkilemektedir. Envanter analizi çeşitli biçimlerde uygulanabilir. Ürünlerin veya prosesleri karşılaştırırken ya da malzeme seçerken çevresel etki faktörlerinin göz önüne alınmasını bunlara örnek olarak rahatlıkla verilebilmektedir. Bu bilgilere ek olarak yapılan envanter analizleri kamu kuruluşlarına ve hükümetlere kaynak kullanımlar ve çevresel emisyonlar hususunda politika belirlenmesi ve mevzuatlar belirlenmesinde ve mevzuatların geliştirilmesinde yardımcı olabilir (Morsali, 2017).

Envanter analizi genellikle 4 aşamada gerçekleşir:

- Sürecin akış diyagramının oluşturulması evresi
- Veri toplama planının geliştirilmesi evresi
- Verilerin toplanması evresi
- Değerlendirme ve raporlama evresi

4.1.1.3 Etki Analizi

Bu aşama yaşam döngüsü aşamasının üçüncü bölümünü oluşturmaktadır. Kısaca envanter analizi aşamasında iken toplanan girdi ve çıktıların meydana getirdiği çevresel etkilerin hesaplandığı bölümdür. Etki analizinde çevresel etkiler sınıflandırılır ve sistematik bir şekilde kategorize edilir. Bu işlem prosedürü şeffaf bir şekilde yapılmalı ve geniş bir uygulama alanı içerisinde esneklik ve kolaylık sağlamalıdır. Etki analizi içerisindeki etki kategorilerinin birbiri içerisinde ağırlıklı olarak değerlendirilmesini kapsar. Bu işlemin amacı farklı yaşam döngüsü etki kategorilerini önem sıralamasını yapmak ve gruplandırmaktır.

Etki analizini oluşturan aşamalar aşağıda verilmiştir:

- Etki kategorilerinin seçilmesi işlemi ve tanımlanması: işlemler ile ilgili çevresel kategorilerin tanımlanması aşaması (asidifikasyon, karasal zehirlilik, küresel ısınma vb.)

- Sınıflandırma: Envanter analizi kısmının etki kategorileri ile ilişkisinin kurulması bu evrede yapılmaktadır. (Örneğin: tüm karbondioksit emisyonlarını küresel ısınma katkılarını gösterecek biçimde sınıflandırma)
- Karakterizasyon: bilimsel karakterizasyon faktörleri ile her bir etki kategorisinin modellenmesi işlemi bu aşamada yapılmaktadır. (Örnek olarak, metanın ve karbondioksitin küresel ısınma etkilerinin modellenmesi işlemi)
- Normalizasyon: iki veya daha fazla karşılaştırılabilen potansiyel etkileri açık bir şekilde açıklamak. (Metan gazı ve karbondioksit gazlarının küresel ısınmaya olan etkilerini kıyaslamak.)
- Gruplandırma: Elde edilen göstergelerin sınıflandırılması ve sıralanması aşamalarıdır. (Örnek olarak, göstergelerin işlemin yapıldığı konuma göre küresel, bölgesel, yerel bazda sınıflandırılması işlemi)
- Ağırlıklandırma: En önemli olan potansiyel etkileri vurgulama aşamasıdır.
- Son işlem olarak: Yaşam döngüsü etki analizinin sonuçlarını değerlendirme ve raporlamadır (Tezcan, 2015).

4.1.1.4 Yorumlama

Bu aşama yaşam döngüsü aşamasının son bölümünü oluşturmaktadır. Kısaca hesaplanan çevresel etkilerin sonuçları değerlendirilerek çalışmanın amacına yönelimde olan yorumlamalar yapıldığı aşamadır.

Yorumlama işlemi aşağıdaki ölçülere göre yapılmaktadır;

- Sonuçlar analiz edilir ve önemli görülen sorunlar belirlenir,
- Değerlendirme işlemleri yapılır, bütünlük, hassaslık ve tutarlılık testleri yapılır,
- Sonuç oluşturulur, limitler açıklanır,
- Tavsiyelerde bulunulur.

Bu kısım diğer kısımlarla uyumlu olmalıdır ve kolay anlaşılabilir, tutarlı ve eksiksiz bir şekilde sunumu yapılmalıdır (Tezcan, 2015).

4.1.2 Yaşam Döngüsü Analizi Standardizasyonu

Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO), hem endüstriyelmiş hem de gelişmiş ülkelerdeki ulusal kuruluşları içeren, amacı geniş bir yelpazedeki ürün ve etkinliklerin standartlaşmasını hedefleyen dünya çapında özel bir organizasyondur.

Uluslararası Standart Organizasyonunun çalışmaları 1994 yılında başlamış olup yaşam döngüsü analizi standartlarının ilk ve tam olma özelliklerine sahip serisinin oluşturulmasını hedeflemiştir. Bu standartlardan 14000 serisi yaşam döngüsü analiziyle ilişkili birçok standardı ve buna ek olarak çevre yönetimi sistemleri üzerine olan 14001 standardını içermektedir, Türkiye'de de yaşam döngüsü analizi sistemlerini yakından takip ettiği için 2007 yılında TS EN 14040-14044 adıyla bütünleştirdiği eş standartları yayınlanmıştır (Polat, 2013).

ISO, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi üzerine ISO 14040 serisini yayımlamıştır. Bu çalışma kapsamında ülkemizde, EN ISO 14040:1997 'den çevrilerek 1998'den itibaren "Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Premsipler ve Çerçeve" adıyla TS EN ISO 14040 ile 14043 arasında tanımlanmıştır. Aşağıda ISO 14040 standartları serisi Tablo 4.1 ile gösterilerek daha anlaşılır olmaya çalışılmıştır.

Tablo 4.1: ISO standartları serisi tablosu (Polat, 2013)

ISO 14040 STANDARLARI SERİSİ	
ISO 14040 (2006)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Premsipler ve Çerçeve
ISO 14040 (1998)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Premsipler ve Çerçeve (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO/DIS 14041(1998)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Amaç ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi (Haziran2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14042 (2000)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14043 (2000)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Yorumu (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14044 (2006)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Gereksinimler ve Kılavuzlar
ISO 14047 (2003)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Etki Değerlendirme- ISO 14042 Uygulama Örnekleri
ISO 14049 (2003)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Etki Değerlendirme- ISO 14041 Amaç ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi Uygulama Örnekleri
ISO/TS 14048 (2002)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Veri Belgeleme Biçimi

4.1.3 Yaşam Döngüsü Analizi Uygulama Alanları ve Kullanıcıları

ISO 14040 standartlarında yaşam döngüsü analizinin uygulandığı alanlar tanımlanmıştır. Bunlar dört büyük başlık altında toplanmıştır bu başlıklar;

1. Kamu yaşam döngüsünde, çeşitli noktalardaki ürünlerin çevresel etkilerini geliştirmek için olasılıkları belirlerken,
2. Stratejik planlama, öncelik belirme, ürün ve hizmetlerin tasarımı ve mevcut tasarımları yenilemesinde kamu sektöründe ve özel sektörlerde kararların verilmesinde
3. Kamu politikasını oluştururken ölçüm teknikleri de içeren şekilde çevresel performans göstergelerini kullanılmasında
4. Pazarlama işlemlerinde, çevresel etiketler ve çevre beyanları bu aşamada büyük önem taşımaktadır.

Nebel kaynağına göz atıldığında ise yaşam döngüsü analizinin yedi uygulama alanı olduğunu belirtilmiştir. Bunlar; ürün tasarımı ve ürün geliştirme, kamuya yasa çıkartma, pazarlama, stratejik planlama, ürün zincir yönetimi karşılaştırma, etiketleme ve ürün beyanları için kullanım olarak adlandırılmıştır.

Yaşam döngüsü alanındaki uygulamalarla ve sonuçlarla ilgilenebilecek birçok çeşitli kullanıcı grupları mevcuttur. Bunlar; ticari birlikler, firmalar, kamu alanındaki kurum ve kuruluşlar, çevreci örgütler ve kuruluşlar, tüketici kuruluşları ve diğer kamu dışı kurum ve kuruluşlar olabilir.

- Sanayide; stratejik planlamalarda, ürün tasarımlarında, ürün tasarımlarının yenilenmesinde ve geliştirilmesinde
- Kamu sektöründe; idari düzenlemelerde, araştırma projelerinde bunlara ek olarak kalkınma finansmanı gibi konularda kara verme konusunda
- Ürünlerin ekolojik yönleriyle ilişkili etiketlenme programlarının hazırlanması olabilmektedir.

Yaşam döngüsü analizi sonuçlarından faydalanılarak hazırlanan çevresel ürün beyanları ve çevre etiketleriyle ürünlerin çevreye olan etkileri ve çevresel özellikleri hakkında bilgiler sunulmaktadır (Polat, 2013).

4.1.3.1 Çevresel Ürün Beyanları (Environmental Product Declaration-EPD)

Gelişmekte olan duyarlı çevre eğilimleriyle beraber üretici kısımlar ürünlerini “Çevre dostu ürün”, “eko-ürün” gibi şekiller ile sunmaya başlamışlardır. Çevresel ürün beyanları, ürünlerin ve sistemlerin çevresel performanslarını belirtmek için kullanılır ve yaşam döngüsü analizine dayanırken gönüllü, sertifikalı ve standartlaşmış özelliklerini içerir. Bu beyanlar doğru ve karşılaştırılabilir olmaktadır.

Çevresel Ürün Beyanları, ürünlerin veya sistemlerin çevresel etki değerlendirmesinin iletişimi sağlamaktadır ve ISO 14025/TR Type III çevre beyanları temeline dayanan bir araçtır. Bu beyan ilgili şirketler ve kuruluşlar için tüm dünya genelinde geçerli olmaktadır. Bu ürün beyanları ISO 14040 serisi standartlara dayanmaktadır ve çevre etkilerinin ölçüldüğü bir nevi etiket özelliğini taşımaktadır. Çevresel ürün beyanlarında:

- Üretici, ithalatçı, toptancı ve şirketlerce yürütülmekte olan çevresel işler,
- Üretim süreleri ve hizmet etkinlikleri,
- Ürünlerin içeriği,
- Malzemelerin ve hizmetlerin envanter verileri,
- Olması muhtemel çevresel etkiler,
- Hizmet, bakım ve geri dönüşüm safhaları,
- Belgelendirme süreci, konularında gerekli bilgileri içerilmektedir.

Bir ürünün veya sistemin çevresel etkileri ile ilgili olan bilgilere ulaşıldığı takdirde kullanıcılar ürünü seçme aşamasında ürünlere ait diğer özelliklere ek olarak bu bilgilerle de değerlendirme sağlayabileceklerdir. Bu sayede çevresel beyana ait olan ürünleri karşılaştırma işlemi doğru şekilde yapılabilecektir ve bu olumlu yönde bir rekabet aracı olabilecektir. Ek olarak çevresel ürün beyanları yeni ürünlerde ek tasarımlarında var olanlarda ise ek tasarımın geliştirilmesinde etkili bir öğedir (Polat, 2013).

4.1.3.2 AB Eko- Etiketi (Eco-label)

Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde çeşitli çevre etiketlerinin hazırlanması ve yaygınlaştırılması üzerine, bütün üye ülkeler için geçerli olacak AB çevre etiketi geliştirilmesi çalışmaları başlatılmış; AB Eko-Etiketi kurulmuştur. Bu etiket Avrupa Komisyonunun 2008 yılında daha geniş sürdürülebilir tüketim-üretim, sanayi politikası eylem planını parçalarından birisidir. Bu etiket çiçek sembolünde olmakla beraber çevreye olan zararlı etki seviyeleri düşük, ürün ve hizmetlerde kullanılabilir. Bu sistem uygulaması ülkemizde uygulanmaya başlaması ile üreticiler için uluslararası pazarlara girebilme avantajı oluşturacaktır (Polat, 2013).

Bir çevre etiketi; aynı ürün grubu içerisindeki belirli değerlerdeki ekolojik ölçütlere uymakta olan ürünlere verilebilmektedir. Var olan ve geliştirilmekte olan ölçütler düzenlemenin oluşturulduğu prosedüre göre ürün grupları tarafından yaşam döngüsü analizinin kullanımı ile bir ürünün veya sistemin yaşamındaki tüm farklı süreçleri ilgilendiren tüm çevresel etkiler göz önünde bulundurularak belirlenmektedir.

Çevre etiketlerinin amaçları arasında; çevrenin korunması, çevresel yeniliklerin desteklenmesi, yapı kullanıcılarının çevresel konularda bilincinin artırılması olarak rahatlıkla sıralanabilir. Etiket başlıca özellikleri arasında ise güvenilir olması, anlaşılır olması, seçici olması, güncel olması, çoklu ölçüt ile yaklaşımı ile çalışması, Avrupa boyutlarına sahip olması ve zorunlu bir uygulama olmamasıdır.

Yaşam döngüsü analizinin geniş çaplı uygulama seçenekleri sayesinde sonuçları kullanabilecek çok sayıda endüstri veya ticari girişimler, idari ve düzenleyici kurum ve kuruluşlar, tüketici kurum veya kuruluşlar, çevresel kuruluşlar gibi birçok kullanıcı olduğu gösterilmektedir (Polat, 2013).

4.1.4 Yaşam Döngüsü Analizi Üzerinde Çalışan Kuruluşlar

Yaşam döngüsü analizini daha anlaşılabilir ve geçen zaman içerisinde değişikliklere uyum sağlaması gerekmektedir. Bu özel durum için bazı kuruluşlar sürekli olarak çalışmalar yapmaktadır bu kuruluşlar alt başlıklarda işlenmiştir.

4.1.4.1 SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)

SETAC 1979 yılında kurulmuştur. Kuruluş 1970'li yıllarda çevresel olaylar ve konular ile ilgilenmekte olan çevre bilimcileri, biyologları, kimyagerleri, toksikologların yanı sıra mühendisleri ve yöneticilerin disiplinler arası iletişimini sağlamak üzere Kuzey Amerika'da kurulmuş olup bir boşluğu doldurmuştur. Bu kuruluşun 1990 yılında kurulan Pensacola, Florida, ABD ve Brüksel ve bunlara ek olarak 2003 yılında kurulan Belçika ofisi olmak üzere idari ofisleri mevcuttur.

SETAC kuruluşu kâr amacı gütmeyen bir kuruluş olmakla beraber dünya genelinde profesyonel bir kuruluştur. Kuruluşun amacı sürdürülebilir çevre kalitesinin ve eko sisteminin bütünlüğünü korumak, geliştirmek ve yönetmek için uygulamaların ve ilkelerin gelişmesini sağlamaktır. SETAC'ın kurucu ilkeleri çevre sorunlarının çözümüne yaklaşmak, bilgi alışverişlerinde bulunmak, doğal kaynakları incelemek, araştırma ve geliştirme, çevre eğitiminin geliştirilmesi, iş ve devlet arasında güçlü bağlar kurmaktır (Çil, 2013).

4.1.4.2 ISO (The International Organization for Standardization)

ISO (International Organization for Standardization), Uluslararası Standartlar Örgütü geniş bir yelpaze içerisindeki ürünlerin ve etkinliklerin standartlaşması amacını taşıyan ve bu konuda çalışmalar yapmak için 1946 yılında Cenevre'de kurulmuş olan özel bir organizasyon olma özelliği taşımaktadır. Yaşam döngüsü analizi ISO'nun çalışma alanları içerisinde yer almaktadır. Bu kapsamda ISO çalışmaları 1994 yılında başlamış olup ilk ve tam serisinin oluşturulmasını hedeflenmiştir. Bu serilerden 14000 serisi yaşam döngüsü analizi ile ilgili birçok standardı içermektedir. İçerdiği kapsamlardan bir tanesi de 14001 serisi olan çevre yönetim sistemi üzerine

olan seridir. Teknolojik gelişmeler ve ihtiyaçlardan dolayı ISO standartları her 5 yılda bir karantina altına alınır ve gerekli değişiklikler yapılır.

4.1.4.3 UNEP (United Nations Environment Development)

Yaşam döngüsü analizi alanında rol alan üçüncü uluslararası kuruluş Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'tir. UNEP'in merkezi Nairobi, Kenya'dadır. UNEP altı bölge ofisine ve birçok ülke ofisine sahiptir. UNEP'in temel amacı, Birleşmiş Milletlerde çevre konusunun eşgüdümünü, çevrenin durumunun küresel düzeyde sürekli gözden geçirilmesini, çevre sorunları hakkında uluslararası toplumun dikkatinin çekilmesini ve uluslararası ve ulusal çevre politikasının ve hukukunun gelişiminin sağlanmasıdır.

Bu örgüt genellikle gelişmiş ülkelerdeki yaşam döngüsü analizi uygulamalarına odaklanmaktadır. Örgütün önemli bir katkısı 1996 yılında gerçekleşmiştir. Bu katkı yaşam döngüsü analizinin kolayca okunmasını sağlayan bir rehber olan "Life Cycle Assessment: What it is, and what to do about it" başlığı ile başlayan yayınıdır.

UNEP ve SETAC şu anda daha büyük ve yeni bir görev olan Yaşam Döngüsü İnisiyatifi için iş birliği yapmaktadırlar. UNEP/SETAC Yaşam Döngüsü İnisiyatifinin amacı, ürün ve hizmetlerin tüm yaşam döngüsü boyunca olanaklarının ve risklerinin değerlendirilmesi için gerekli pratik araçların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasıdır (Çil, 2013)

4.1.5 Yaşam Döngüsü Analizini Çalışmalarında Kullanılan Yazılımlar

Yaşam döngüsü analizi ile atık yönetimini irdeleyen birçok yazılım mevcuttur. Bu yazılımlardan dünya çapında yaygın olarak kullanılanlarından bazıları;

4.1.5.1 SimaPro

Mark Goedkoop tarafından yönetilen ‘‘Pre Consultants’’ kuruluğu altındaki programdır, bağımsız bir kurumdur. Kurum yaşam döngüsü analizini yaparken ürünlerin çevresel performansını geliştirir ve yaşam döngüsü yönetimi boyunca araçların geliştirilmesi ve kullanışlı olmasını sağlar. 1990 yılında kurulan SimaPro ana endüstriler, danışmanlık hizmetleri ve üniversiteler tarafından kullanılmaktadır. Elli ülkede satılmakta olan ve çok sayıda lisanslı kullanıcıya sahip olan SimaPro:

- ‘‘Monte Carlo’’ analizini yapabilme özelliği,
- Modelin herhangi bir aşamasında iken etki değerlendirme hesapları yapabilme özelliği,
- Uygun bir bakış açısı içerisinde tüm sonuçları sunabilme özelliği,
- Kullanıcıların programı kendi halinde öğrenilebilmesi ve ISO 14040 standardını izleyebilme özelliği,
- Ağaç yönetimi özelliği,
- Bütün sonuçlar için ayrıntılı seçenekler oluşturabilme özelliği,
- Atık yönetimi konusunda ve geri dönüşüm senaryolarının analizinin yapabilme özelliğine sahiptir (Üstün, 2013).

4.1.5.2 GaBi Modeli

‘‘Gabi’’ yeni teknolojiler ve özelliklere sahip olan yaşam döngüsü analizinde devam ettirilebilir bilgi yönetimi ve değerlendirmesinde kullanılan evrensel bir araç olmuştur. Çözüm sağladığı konular arasında aşağıdaki maddeler yer almaktadır. (Üstün, 2013)

- Yaşam döngüsü analizinde
- Sera etkisi yaratan gazların hesaplanmasında,
- Çevre tasarımında,
- Enerji tasarrufunda,
- Çevresel raporlarda ve Stratejik risk yönetiminde.
- Toplam maliyet hesaplanmasında

4.1.5.3 Athena Modeli:

“Athena” Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü; bireylerin, şirketlerin, yönetimlerin ya da diğer kurumlarının üyelikleriyle yapılanmakta ve üyelik ödentisi araştırma programına fon oluşturmaktadır. Enstitünün araştırma ekibi; farklı yapı ürünlerinin üretim süreci, bu ürünlerin yapıda ve yapımda kullanımları, hammadde edinimi ile ilgili kapsamlı çevresel konular, yapının yıkılması ve yok edilmesine ilişkin ayrıntılı bilgiye sahip uzman kişi ve kurumlardan oluşmaktadır (Üstün, 2013).

Enstitünün kullanıcıların gereksinimlerini karşılamak amacı ile sunduğu danışmanlık ve uygulama alanları;

- Belirli yapıların çevresel değerlendirmeleri,
- Ürün ya da üretim sürecinde yaşam döngüsü analizinin ilkeleri ve uygulanması,
- ‘Athena’ kullanımına ilişkin eğitim,
- Kullanıcının sürdürülebilirlik çalışmalarında yol göstericilik ve öneriler şeklindedir.

Bu modellerin altındaki programlar dışında daha birçok gelişmiş ve gelişmekte olan programlar bazıları şunlardır.

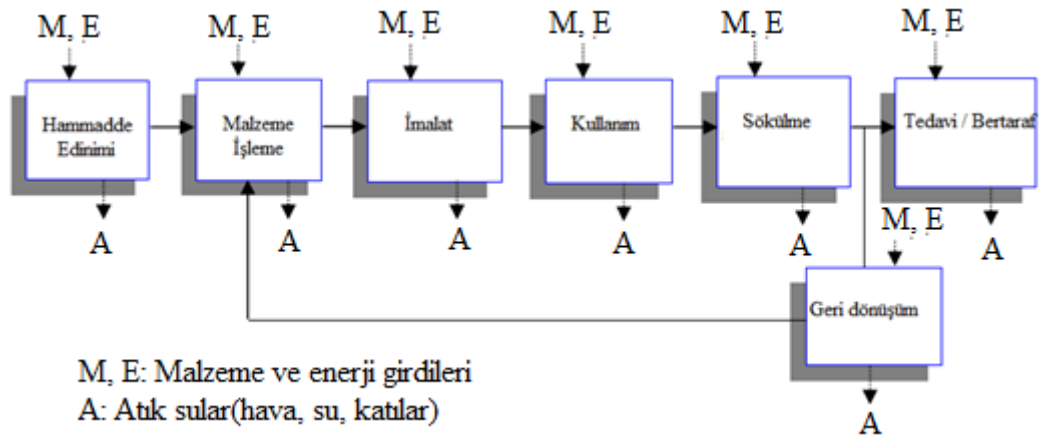
- Earth Smart
- Sustainable Minds
- Enviance System
- Open LCA
- Quantis Suite
- LCAiT
- NIRE-LCA
- Umberto
- EcoScan Life
- REGIS
- TEAM
- CEDA

4.2 PV Sistemlerinde Yaşam Döngüsü Analizi

Günümüzde, PV teknolojisi genellikle en temiz güç üreten teknoloji olarak kabul edilmiştir, ancak PV teknolojilerinin yaşam döngüleri boyunca ek enerji tüketebileceği konusunda hala tartışmalar vardır. Örneğin, ham PV malzemelerinin üretimi, işlenmesi ve saflaştırılması; PV modüllerinin ve diğer sistem bileşenlerinin imalatında; PV sistemlerinin kurulmasında, işletilmesinde ve bakımında ve sistem bileşenlerinin sökülmesi, elden çıkarılması ve geri dönüştürülmesinde sırasında enerji tüketilebilir.

İnsanlar yaşam döngüleri boyunca üretilen enerjinin tüm yaşamları boyunca toplam enerji tüketimini dengeleyip denemeyeceğinden şüphe edebilir. Bu nedenle, ömür boyu hem toplam yatırımı hem de toplam sistem üretimini dikkate alan bir yaşam döngüsü değerlendirmesi, PV sistemlerinin yaşam döngüsü performansını değerlendirmede yardımcıdır (Zhang ve arkadaşları, 2018).

Fotovoltaiklerin yaşam döngüsü aşamaları (1) hammaddelerin üretimi, (2) bunların işlenmesi ve saflaştırılması, (3) modüllerin üretimi ve sistem (BOS) bileşenlerinin dengesi, (4) cihazın sistemleri ve (5) hizmet dışı bırakma ve elden çıkarma veya geri dönüşüm işlemleri olarak belirlenmiştir (Fthenakis ve Kim, 2010). Şekil 4.2’de PV sistemleri için yaşam döngüsü aşamalarını göstermektedir.



Şekil 4.2: PV sistemleri için yaşam döngüsü aşamalarının, enerji, malzemelerin ve atıkların akışı (Url-17, 2019)

4.2.1 PV Modüllerinin Üretim İşlemleri

Bu çalışmada PV modüllerinin üretim şekilleri iki ayrı ana başlık altında toplanmıştır. Bunlardan ilki kristal silikon modüllerinin üretim yöntemleridir. İkincisi ise ince-film modüllerin üretim aşamalarıdır bu aşamalar alt başlık halinde incelenmiştir.

4.2.1.1 Kristal Silikon PV Modüllerinin Üretim İşlemleri

Silikon bazlı PV modüllerinin (mono-Si, multi-Si ve a-Si dahil) üretim süreçleri Şekil 4.3'de gösterilmektedir. İşlemler temel olarak kuvars indirgeme, metalurjik dereceli silikon (MG-silikon) saflaştırma, elektronik silikon (EG-silikon) veya güneş dereceli silikon (SoG-silikon) üretimi, mono-Si veya çoklu Si kristalizasyonu, silikon devre levhası (wafer), hücre üretimi ve panel üretimi düzeneğidir.

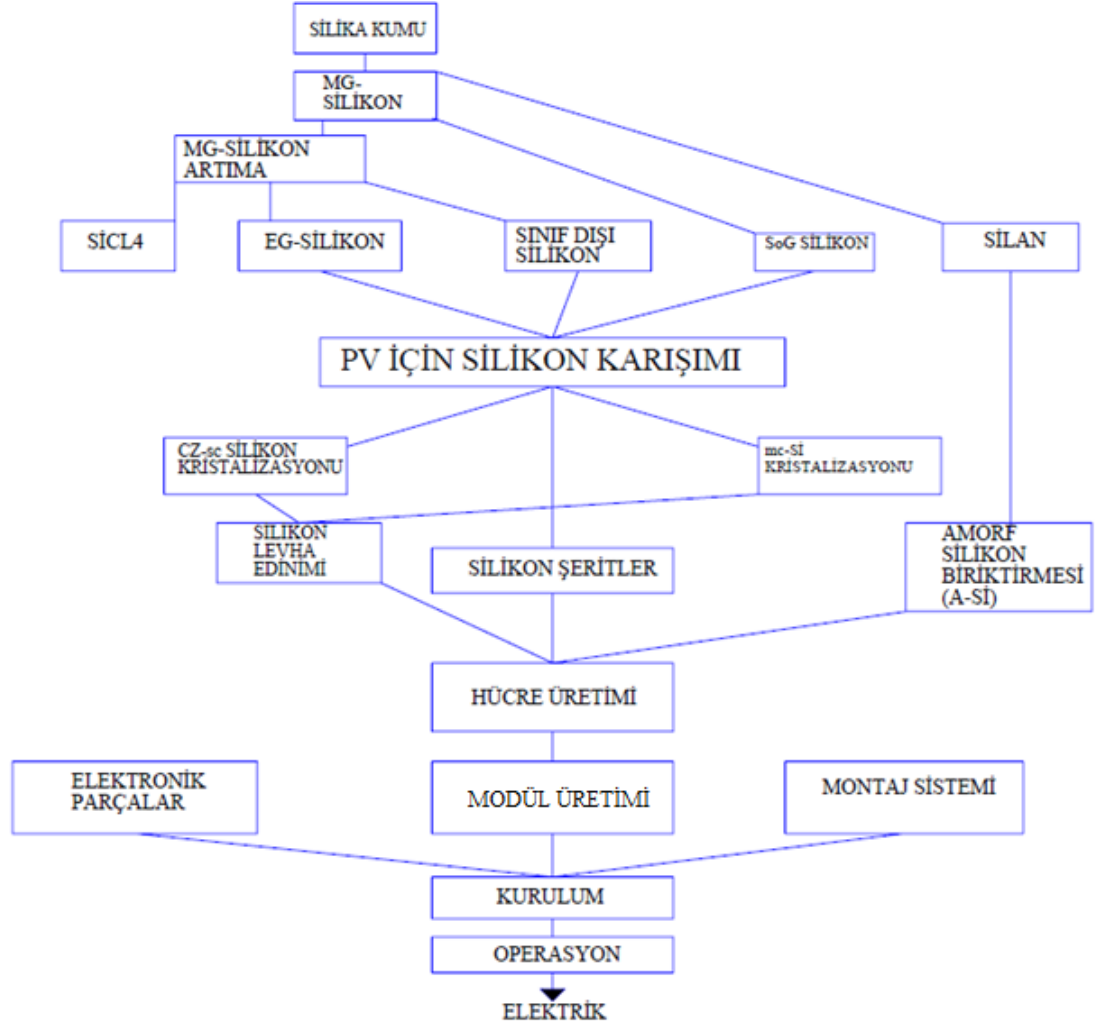
Öncelikle, silis kumu, saf olmayan MG-silikon elde etmek üzere indirgemek için bir ark ocağına konur ve daha sonra MG-silikonunun Siemens işlemi ile EG-silikon içine daha da saflaştırılması veya Siemens işlemi ve diğer işlemlerle modifiye edilmiş SoG-silikonun içine saflaştırılması gerekir. Siemens işlemi, triklorosilan (SiHCl_3) ve hidrojen (H_2) gazlarının reaksiyon için $1100-1200^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtıldığı bir reaktör odasında gerçekleşirken, Siemens prosesinde sadece silan (SiH_4) ve hidrojen (H_2) gazlarını işlerken yaklaşık 800°C 'ye ısıtılması gerekir. Böylece, değiştirilmiş Siemens işleminde çok fazla enerji tasarrufu sağlanır. Fotovoltaik endüstrisinin son yıllarda hızlı bir şekilde büyümesi nedeniyle, elektronik endüstrisinden elde edilen yüksek kaliteli silikon piyasa taleplerini karşılayamamaktadır, bu nedenle günümüzde PV endüstrisinde kullanılan büyük miktarda silikon, özel bir Siemens işlemiyle üretilmektedir. PV dışı silikon tedarik zincirinde düşük kaliteli silikonun payı düşmekte, 2006 yılında kaliteli silikonun toplam PV arzının sadece %5'ini oluşturduğu ve gelecekte daha da azalacağı tahmin edilmektedir (Peng ve arkadaşları, 2012).

EG-silikon, birinci sınıf silikon ve SoG silikon, günümüz PV endüstrisi için silikon karışımını oluşturuyor, bu silikon besleme stoğu eritilecek ve kalıplara dökülür.

Multi-Si silikon devre levhaları(wafer) doğrudan bu polikristal bloklardan üretilebilirken, mono-Si silikon devre levhaları(wafer) üretimi için büyüyen kristali eritme kabından yavaşça çıkarmak için Czochralski işlemi gereklidir. Daha sonra, silikon külçeler, şerit testereler veya tel testereler tarafından, son silikon devre levha (wafer) büyüklüğü tarafından belirlenen bir kesite sahip sütunlar halinde kesilecektir. Genellikle, mono-Si sütunları $156 \sim 156 \text{ mm}^2$ (0.0243 m^2) büyüklüğünde ve 180-270 mm varsayılan bir kalınlığa sahip kare silikon devre levhaları(wafer) şeklinde kesilir. Multi-Si kolonları kare boyutu $156 \sim 156 \text{ mm}^2$ ve varsayılan kalınlığı 180-240 mm olan silikon devre levhaları(wafer) halinde kesilir. Silikon devre levha(wafer) kesmeden sonra, bir sonraki adım hücre üretimidir ve hücre üretiminin ana teknolojileri aşağıdaki gibidir (Peng ve arkadaşları, 2012):

- Aşındırma: Silikon devre levhalar(wafer) yüzey mikroskobik hasarlarını ve biçilmiş parçalarını çıkarmak için kimyasal banyolara konur.
- Doping: Aşındırma işleminden sonra, fotoaktif PN bağlantısını oluşturmak için silikon devre levhalar üzerinde bir doping işlemi yapılmalıdır. Yaygın durum fosforla doping yapmaktır.
- Serigrafi: Elektron toplamak için silikon devre levhanın ön ve arka yüzüne baskı yapmak için metalleştirme gerekir.
- Kaplama: Işınlamayı arttırmak ve verimliliği arttırmak için yansıma önleyici kaplama ön cepheye boyanmıştır.
- Kontrol: Tamamlanan hücre, verim ve elektriksel özellik açısından kontrol edilmelidir.

PV panel veya laminat üretimi için, hücreler ön ve arka taraflarda gümüş temaslı iplere bağlanır ve daha sonra güneş hücreleri koruma sağlamak için kullanılan iki tabaka etil-vinil asetat (EVA) içine gömülür. Bu işlem operasyon sırasında fiziksel unsurlardan korumak için yapılmaktadır. EVA'nın ön tarafında, ön kapağa 1 ila 3 mm düşük demir cam levha eklenir ve arka tarafta arka kapak olarak Tedlar film kullanılır. Sandviç tipi panel daha sonra basınç ve ısı makinesi altında kalıplanır, kenarlar temizlenir ve bağlantılar yalıtılır. PV panel üretimi için, güçlendirmek ve kolay montaj için ek alüminyum çerçeveye ihtiyaç duyulurken, PV laminat için çerçeveye ihtiyaç duyulmaz, doğrudan binaya entegre edilebilir. Son olarak, paneller ve laminatlar test edilir ve paketlenir (Peng ve arkadaşları, 2012).



Şekil 4.3: Kristal yapılı PV modülleri üretim şeması (Peng ve arkadaşları, 2012)

4.2.1.2 Adım Adım Kristal Silikon PV Panelleri

Bu kısımda kristal silikon PV modülü üretilirken PV modülünün adım adım geçirdiği operasyonlar incelenmiştir. İncelenen kısım hakkında bilgiler verilmiş olup girdi ve çıktı bilgileri de tablo halinde yerini almıştır.

4.2.1.2.1 Mg-silikon Üretimi

Fotovoltaik tedarik zincirindeki ilk seviye metalurjik dereceli silikon üretimidir (MGsilicon). %99'un üzerinde bir saflığa sahip olan MG-silisyumun (metalurjik kalite) üretimi, indirgen maddeler olarak benzin, kömür ve odun yongaları kullanılarak silis kumunun karbotermal indirgenmesine dayanır. İndirgeme etkenlerinin tüketimi, elektrik kullanımı, kuvars girişi (silika kumu ile temsil edilir) ve hava ve su kaynaklı kirleticilerin emisyonu (CO₂, SO₂ ve SiO₂ tozu ile yayılan iz elementler) envantere dahil edilir. Tablo 4.2'de: Mg-silikon üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Mg-silikon üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Şebekede orta gerilimde elektrik(kWh)	Atık durumundan ısı (MJ)
Ormandan karışık odun yongaları, u=120% (m ³)	Arsenik-Alüminyum-Antimon (kg)
Tesiste sert kömür (MJ)	Bor-Kadmiyum-Kalsiyum (kg)
Grafit (kg)	Biyojenik Karbonmonoksit (kg)
Kömür(kg)	Fosil Karbonmonoksit (kg)
Taşıma türüne göre işlemler(tkm)	Fosil Karbondioksit (kg)
Rafineriden petrol(kg)	Klor-Siyanür-Florin (kg)
Silis kumu(kg)	Hidrojen sülfid- Hidrojen florid (kg)
MG silikondan artan sıvı oksijen(kg)	Demir-Kurşun-Cıva(kg)
İnert malzeme üretimi(kg)	NMVOC, metan dışı uçucu organik bileşikler belirtilmemiş kökenli (kg)
Silikon sistem(ünite)	Parçacıklar> 10 um (kg)
Taşıma türüne göre işlemler(tkm)	Potasyum-Silisyum-Sodyum
	Biyojenik Karbondioksit (kg)
	Sülfür dioksit-Kalay (kg)

4.2.1.2.2 Mg-si Saflaştırma İşlemi

Güneş hücreleri de dahil olmak üzere çeşitli yarı iletken uygulamaları için silikon kullanılmadan önce, 0.01 ila 0.0001 ppmw (ağırlıkça milyon başına parça) saflık seviyelerine kadar daha da saflaştırılması gerekir. Kirlilik konsantrasyonlarına bağlı olarak, bu malzeme güneş sınıfı (SoG, 0.01 ppmw) silikon veya elektronik sınıf

(EG, 0.0001 ppmw) silikon olarak sınıflandırılır. Bu saflaştırılmış silikon malzemesi genellikle polikristal formunda üretildiği için, endüstride hem EG hem de SoG-silikon için yaygın olarak kullanılan bir isim “poli-silikon” dur. Bu poli-silikon, kristalli silikon devre levhası(wafer) üretimi için elektronik veya fotovoltaik uygulamalar için başlangıç maddesidir (Jungbluth ve arkadaşları, 2012).

Arıtma işlemi, üç farklı ekonomik sektörde kullanılan üç farklı ürün sunmaktadır. Bunlar SiCl₄, EG-silikon ve sınıf dışı silikondur. Arıtma işleminin çevresel etkileri, bu üç eşleşmiş ürün arasında paylaşılmalıdır. Birkaç LCA fotovoltaik çalışmasında, MG-silisyumun saflaştırılması işlemi için tüm girdiler ve çıktılar EG silikonuna (silikon devre levhası üretimi için gerekli) tahsis edilmiştir, çünkü bu, ekonomik açıdan ana üründür ve hiçbir akış olmamıştır. Bu işlem için en önemli girdiler MG-silisyum, hidroklorik asit ve hidrojenidir. Doğrudan proses emisyonları hakkında fazla bir şey bilinmemektedir. Silisyum saflaştırma işleminden çıkan metal klorürler merkezi atık su arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Suya emisyonlar, bir üretim sahasındaki ortalamaya göre hesaplanır (Jungbluth ve arkadaşları, 2012). Tablo 4.3’de Mg saflaştırma işlemi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Mg saflaştırma işlemi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Su(m ³)-Yumuşatılmış su(kg)	%15,3 ü su olan plastik karışımı(kg)
Mg-Silikon(kg)	Atık; Isı (MJ)
Polietilen(kg)	AOX, Cl olarak Adsorbe Edilebilir Organik Halojen(kg)
Hidrolik asit, %30 (H ₂ O içinde) (kg)	BOD5, Biyolojik Oksijen İhtiyacı(kg)
Hidrojen, sıvı(kg)	KOİ, Kimyasal Oksijen İhtiyacı(kg)
Tetrafloroetilen(kg)	DOC, Çözünmüş Organik Karbon(kg)
Sodyum hidroksit, %50 (H ₂ O içinde) (kg)	Sodyum(iyon)-Çinko(iyon) (kg)
Grafit(kg)	Klorid-Azot-Fosfat(kg)
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	Demir(iyon)-Bakır, (iyon) (kg)
1 MW’de yanmış kojenerasyon ısı ekserjisi (MJ)	TOC, Toplam Organik Karbon(kg)
1 MW’de yanmış kojenerasyon elektrik ekserjisi(kWh)	
Hidroelektrik santralden elektrik enerjisi (kWh)	
Silikon parçalar (ünite)	

4.2.1.2.3 Siemens İşleminde Elde Edilen Solar Dereceli Silisyum

Önceki bölümde elektronik kalitede silikon üretimi tartışılmıştır. Bu malzemenin çoğu yarı iletken endüstrisine tedarik edilir ve PV silikon devre levhası üretimi için sadece küçük bir kısım kullanılır. 2004 yılından bu yana meydana gelen “solar silikon” üretim kapasitesindeki kısıtlılığı gidermek için, bazı EG-silikon üreticileri güneş enerjisi endüstrisi için silikon üretmeye başlamıştır. Bu endüstri türünden veri almak oldukça zordur. Solar dereceli silisyum üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Solar dereceli silisyum üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Mg-silikon (kg)	Atık; Isı (MJ)
Hidrolik asit, %30 H ₂ O (kg)	AOX, Cl olarak Adsorbe Edilebilir Organik Halojen(kg)
Hidrojen, sıvı(kg)	BOD ₅ , Biyolojik Oksijen İhtiyacı(kg)
Sodyum hidroksit, %50 (H ₂ O içinde) (kg)	KOİ, Kimyasal Oksijen İhtiyacı(kg)
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	DOC, Çözünmüş Organik Karbon(kg)
Tahsis edilen elektrik enerjisi(kWh)	Sodyum(iyon)-Çinko(iyon) (kg)
Hidroelektrik santrallerinden elektrik (kWh)	Klorid-Azot-Fosfat(kg)
Şebekeden orta gerilimde elektrik (kWh)	Demir(iyon)-Bakır, (iyon) (kg)
1 MW’de yanmış kojenerasyon ısı ekserjisi (MJ)	
Silikon parçalar(ünite)	TOC, Toplam Organik Karbon(kg)

4.2.1.2.4 Fotovoltaikte Kullanılan Saf Silikon için Üretim Karışımı

Son yıllarda fotovoltaik silikon devre levha üretimimi için kullanılan silikon niteliklerinde hızlı bir değişiklik olduğu gözlemlenmiştir. Fotovoltaikler için saflaştırılmış silikon hammaddesinin yaklaşık %80’i fotovoltaik hammadde üretimi amacıyla özel olarak tasarlanmış işlemlerde üretildi. Girişlerin geri kalanı, birinci sınıf

silisyum (%5,2) ve EG-silikon hammaddelerini (%14,6) temel almaktadır. Tablo 4.5’de fotovoltaik sistemler için saf silikon üretimi unsurları gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Fotovoltaik sistemler için saf silikon üretimi unsurları (Jungbluth ve arkadaşları, 2012)

Simens İşlemleriyle Solar dereceli silikon (Sog-si) (kg)	%80,2
EG-silikon (kg)	%14,6
Birinci Sınıf Silikon (off grade) (kg)	%5,2

4.2.1.2.5 Cz-sc Silikon Tek Kristalli Silikon

Silikon karışımları hazırlandıktan sonra tek kristalli güneş hücreleri üretilecekse Cz-sc Silikon kristalleştirilmesi adımına geçilir. Güneş sınıfı silikon girişinin %25’i, CZ tek kristalli silikon üretimi durumunda geri dönüştürülmüş silikondur. Bu, bir kg CZ tek kristalli silikon başına 0,26 kg geri dönüştürülmüş silikon girişine karşılık gelir. Tablo 4.6’da cz-sc silikon kristalizasyonu sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Cz-sc silikon kristalizasyonu sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları,2012) (Wild-Scholten ,2014)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Su (m ³), De iyonize Su	Atık; Isı (MJ)
Şebekeden orta gerilimde elektrik (kWh)	Florür (kg)
Endüstriyel fırınlarda düşük NOx’lerde yanmış doğalgaz > 100kW (MJ)	
Fotovoltaik silikon karışımı(kg)	Hidrokarbon (kg)
Argon(sıvı)-Hidrojen florür(kg)	Hidroksit (kg)
Nitrik asit, %50 H ₂ O (kg)	Asetik asit (kg)
Asetik asit, %98 H ₂ O (kg)	BOD5, Biyolojik Oksijen İhtiyacı (kg)
Aseton, sıvı (kg)	KOİ, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (kg)
Sodyum hidroksit, %50 H ₂ O (kg)	OC, Çözünmüş Organik Karbon(kg)
Paketlenmiş sulu kireç (kg)	TOC, Toplam Organik Karbon (kg)
Seramik fayans (kg)	Azot (kg)
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	Nitrat (kg)
İgormanik su ve onarılmış silikon(kg)	Azot oksitler(kg)

4.2.1.2.6 Mc-silikon Döküm

Silikon karışımları hazırlandıktan sonra multi-kristalli güneş hücreleri üretilecekse mc-silikon döküm adımına geçilir. EG-silisyum, dereceli silisyum ve SoG silisyum eritilir ve (veya) potalarda eritilir. Arıtılmış silikon bir kuvars pota içine dökülür. Potalar sonradan yol yapımında tekrar kullanılır. Büyük yuvarlak mc-Si blokları testerelerle kare bloklara kesilir. Çelikler kısmen tekrar kullanılabilir. Silikon devre levhasılar doğrudan bu çok kristalli bloklardan üretilebilir. Çok kristalli silikon üretimi durumunda, güneş sınıfı silikon girişinin %30'u geri dönüştürülmüş silikondur. Bu, bir kg çok kristalli silikon için 0,3 kg geri dönüştürülmüş silikon girişine karşılık gelir. Tablo 4.7'de mc-silikon döküm sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Mc-silikon döküm sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012)(Wild-Scholten, 2014)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Soğutma suyu(m ³)-Musluk suyu(kg)	Atık; Isı (MJ)
Şebekeden orta gerilimde elektrik (kWh)	
Argon(sıvı)-Helyum-Azot(sıvı)	
Sodyum hidroksit, %50 (H ₂ O içinde) (kg)	
Fotovoltaik silikon karışımı(kg)	
Silikon Sistem(ünite)	
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	
Depolanmış seramik karolar(kg)	

4.2.1.2.7 Silikon Devre Levhası (Wafer) Üretimi

Sc-Si ve mc-Si silikon devre levhası (wafer) için birlikte incelenerek üretim sürecindeki farklılıkların az olduğu düşünülmektedir. Üreticilerin çoğu bugün çok telli dilimleme teknolojisi kullanmaktadır. Bu teknoloji, iç çap testerelere kıyasla günlük yüksek silikon devre levha verimi avantajına sahiptir. Monokristalin silikon külçeleri, birinci adımda, şerit testerelerle kesilir veya nihai silikon devre levhası büyüklüğü tarafından belirlenen bir kesite sahip sütunlar halinde tel testere ile kesilir. Geometrik düşüncelere dayanarak, bu adımda silisyumun %36'sının kaybolduğu, geri dönüştürüldüğü ve yine silikon kaynağına tekrar beslendiği varsayılmaktadır.

Polikristal silikon hali hazırda olan kolonlarda dökülür ve kesmeye gerek yoktur. Sütunlar, çok dilimli bir testereye yerleştirilir ve bunlar silikon devre levhalar şeklinde dilimler. Tek bir dilim birkaç kilometre uzunluğunda olabilir. Dilimler paralel uzanmaktadır. Kesim silisyum karbür ile aşındırıcı bulamaç ile yapılır. Silikon devre levhasılar işlemden sonra temizlenir. Bu amaç için KOH veya NaOH, hidroklorik asit, asetik asit ve tensit gibi farklı kimyasallar kullanılabilir. Silikon devre levhasılar daha sonra polistiren ve plastik folyo içinde paketlenir (Jungbluth ve arkadaşları, 2012).

Üçüncü tip silikon devre levhasılar olarak şerit silikon (ribbon silikon devre levhalar araştırılmıştır. Bu silikon devre levhalar ayrıca çok kristalli silikondan yapılmıştır. Silikon devre levhalar bloklardan kesilmez, ancak doğrudan sıvı silikondan çekilir veya dökülür. Böylece, testere kayıpları önlediğinden, çok daha yüksek bir malzeme verimliliği sağlanabilir. 100-300 µm kalınlığında bir silikon film doğrudan üretilir. Bu, örneğin bir lazerle kare parçalara kesilir. Önemli süreçler olarak kenarları üzerinde tanımlanmış film beslemeli büyüme (EFG), şerit ve şerit büyümesi süreçleridir (RGS) (Jungbluth ve arkadaşları, 2012).

Genel silikon devre levha kalınlığı olarak 100µm'ye ulaşılabilir. Ancak, üretim tesislerinin çoğu, kırılmalar nedeniyle kayıpları azaltan silikon devre levhaların iyi bir şekilde taşınmasını sağlamak için daha yüksek bir kalınlığa sahip ürünler üretmektedir. Silikon devre levhalar kesimden sonra temizlenir. Bu nedenle asitler uygulanır, örnek olarak HF, HCl veya asetik asit verilebilir. Bu işlemden kaynaklanan emisyonlar bir gaz temizleme ünitesine beslenir ve sodyum hidroksit ile nötrleştirilir. Elektronik endüstrisi için üretilen silikon devre levhalar, güzel parlak silikon devre levhalar yapmak için yüzey parlatma adımı alır unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012) (Wild-Scholten, 2014). Tablo 4.8'de silikon devre levha (wafer) üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Silikon devre levha (wafer) üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012) (Wild-Scholten, 2014)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Şebekeden orta gerilimde elektrik (kWh)	%0'ı su olan geri dönüşümsüz karı atık(kg)
Endüstriyel fırınlarda düşük NOx'lerde yanmış doğal gaz > 100kW (MJ)	%22,9'u su olan geri dönüşümlü katı atık (kg)
Musluk suyu (kg)-Yumuşatılmış su(kg)-İyonize edilmiş su (kg)	%9,4'ü su olan inorganik geri dönüşümlü atık (kg)
Fotovoltaik cz-sc silikon (kg)	Atık; Isı (MJ)
Dökülmüş mc-silikon (kg)	Su (arıtma ünitesi)
Fotovoltaik silikon karışımı(kg)	Azot oksitler(kg)
Silisyum karbür ve geri dönüşümden gelen silisyum karbür(kg)	Kadmiyum(iyon) (kg)-Krom(iyon) (kg)
Kaplamasız düz Argon (sıvı)-Grafit (kg)	Bakır(iyon)-Nikel(iyon)
Sodyum hidroksit, %50 H ₂ O (kg)	Kurşun(kg)-Cıva(kg)-Azot(kg)
Hidrolik asit, %30 H ₂ O (kg)	DOC, Çözünmüş Organik Karbon(kg)
Asetik asit, %98 H ₂ O (kg)	BOD5, Biyolojik Oksijen İhtiyacı(kg)
Nitrik asit, %50 H ₂ O (kg)	KOI, Kimyasal Oksijen İhtiyacı(kg)
Tesisten ve geri dönüşümden Trietilen glikol (kg)	AOX, Cl olarak Adsorbe Edilebilir Organik Halojen(kg)
Dipropilen glikol monometil eter(kg)	Fosfat(kg)
Petrokimyasal alkilbenzen sülfonat (kg)	
Akrilik bağlayıcı, % 34 H ₂ O(kg)	
Cam yünü mat-Kaplamasız düz cam(kg)	
Ahşap içermeyen kaplanmış kâğıt(kg)	
Yüksek etkide polistren (HIPS)(kg)	
Paketleme filmi (LDPE)(kg)	
Pirinç (kg)-Düşük alaşımlı çelik(kg)	
Çelik tel çekme(kg)	
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	

4.2.1.2.8 Güneş Hücreler Üretimi Yaşam Döngüsü Analizi

Bir güneş pili, yarı iletkenin 'pn' birleşme noktası ışınlandığı zaman elektriğin üretildiği fotovoltaik etkiden yararlanan bir tür yarı iletken cihazdır. Işık bir güneş piline çarptığında, bir kısmı yansıtılır, bir kısmı emilir ve bir kısmı hücreden geçer. Absorbe edilen ışık, bağlı elektronları daha yüksek bir enerji haline getirerek onları

serbest elektronlar haline getirir. Tablo 4.9’da güneş hücreleri üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar gösterilmiştir (Jungbluth ve arkadaşları, 2012) (Wild-Scholten, 2014).

Kristal güneş pili üretim adımlarını şöyle tanımlanabilir.

- Silikon Devre levhaların elde edinimi.
- Silikon Devre levhaların ilk önce yüzeylerinde mikroskobik hasarı gidermek için birkaç kimyasal banyoya maruz bırakılır. Testere parçalarını çıkarmak için silikon devre levhaların alkali ile kazınır.
- Fotovoltaik uygulamalarda silikon devre levhalar fotoaktif ‘p/n’ birleşimini oluşturmak için önce bir doping işleminden geçmelidir. Bu, çoğu durumda fosforlu bir n + dopingdir. Katkı doping camının biriktirilmesi ve fosforoksiklorit (POCl₃) kullanılarak bir konveyör fırınında veya bir tüp fırınında difüzyonun ardından yapılır. Doping camı kullanılarak doping yöntemi basittir ve bir konveyör fırınında sürekli bir işlemde yapılabilir. Sonra silikon devre levhalar yüzeyde negatif iletken bir film elde etmek için kaplanır.
- Elektrik bağlantısına izin vermek için ön ve arka taraflarda baskı metalizasyon yapılır. Son olarak, temas malzemesi fırın içindeki silikon devre levha içine yanmıştır.
- Verimliliği artırmak için ön boyutta yansıma önleyici kaplanır. Bitmiş hücre verimi ve diğer elektriksel yanı sıra görsel özellikleri için kontrol edilir ve buna göre sınıflandırılır.

Şerit silikon (ribbon) güneş hücreleri diğer silikon hücreler gibi üretilir fakat özelliklerinde bazı farklılıklar mevcuttur.

- Üretilen şeritlerin yüzeyinin pürüzlülüğü olmadığı için, dokularının oluşturulması çok zordur ve çok ve tek kristalli silikon ile karşılaştırıldığında farklı (çok gizli) karışımlar kullanılır
- Şeritlerin yüzeyi düz olmadığından ve kristal kalitesi düşük olduğundan daha kolay kırılırlar.

Tablo 4.9: Güneş hücreleri üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012) (Wild-Scholten ,2014)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Soğutma suyu(m ³)	%9,4'ü su olan inorganik geri dönüşümlü atık (kg)
Şebekeden orta gerilimde elektrik(kWh) Endüstriyel fırınlarda düşük NOx'lerde yanmış doğalgaz> 100kW (MJ)	Tamamen yumuşatılmış su(kg)
1MW endüstriyel fırında yanmış modüle edilmemiş hafif yakıt yağı (MJ)	Hücre üretimi sırasında atık su arıtma (m ³)
Tek kristalli silikon devre levha(m ²)	Atık; Isı (MJ)
Multikristal silikon devre levha(m ²)	Hidrojen klorür(kg)
Multikristal şerit silikon(ribbon) devre levha (m ²)	Hidrojen florür(kg)
Metalizasyon macunu, ön kısım(kg)	Alüminyum (kg)
Metalizasyon macunu, arka kısım(kg)	Kurşun(kg)
Alüminyum metalizasyon macunu, arka kısım (kg)	Azot oksitler(kg)
Amonyak(sıvı) (kg)-Azot(sıvı) (kg)	Etan, heksafloro (HFC-116) (kg) Metan, tetrafloro (R-14) (kg)
Oksijen(sıvı(kg))-Argon(sıvı) (kg)	Parçacıklar, <2,5 um(kg)
Fosforik asit, gübre derecesi, %70 H ₂ O (kg)	Silikon(kg)
Fosforil klorür(kg)- Hidrojen florür(kg)	Gümüş(kg)-Sodyum(kg)-Kalay(kg)
Titanyum dioksit (üretim karışımı) (kg)	NM VOC, metan dışı uçucu organik bileşikler(kg)
Etilen kaynaklı etanol(kg)-İsopropanol(kg)	
Organik çözücüler(kg)-Silikon ürün(kg)	
Sodyum silikat (sprey tozu%80)	
Kalsiyum klorür (CaCl ₂)	
Asetik asit, %98 H ₂ O (kg)	
Hidrolik asit, %30 H ₂ O (kg)	
Nitrik asit, %50 H ₂ O (kg)	
Sodyum hidroksit, %50 H ₂ O (kg)	
Tetrafloroetilen(kg)	
Genişletilebilir polistren (paket) (kg)	
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	

4.2.1.2.9 Güneş Paneli Üretimi

Panel üretiminde ilk olarak, hücreleri bakır bağlantılarla birbirine bağlayan bir hücre dizisi üretilir. Güneş pilleri, her biri önde ve arkada olmak üzere etil-vinilasetat katmanlarına yerleştirilmiştir. Arka kapak ise polyester ve polivinilflorür (Tedlar) filminden oluşmaktadır. Genellikle ön kapak için 4 mm düşük demir cam levha kullanılmaktadır. Ardından basınç ve ısı altında birleştirme işlemi uygulanır, kenarlar arındırılır ve bağlantılar yalıtılır. Havaya az miktarda gaz yayılabilir. Folyonun üst üste binen kısımları kesilir. Panel ayrıca bir alüminyum çerçeve (AlMg3) alır. Yüklenen bir bağlantı kutusuyla silikon montajı yapılabilir. Son olarak, paneller test edilir ve paketlenir. Proses verileri, malzeme ve enerji tüketiminin yanı sıra üretim atıklarının artırılmasını içerir. Tablo 4.10'da Güneş paneli üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar unsurlar gösterilmiştir (Jungbluth ve arkadaşları, 2012) (Wild-Scholten, 2014).

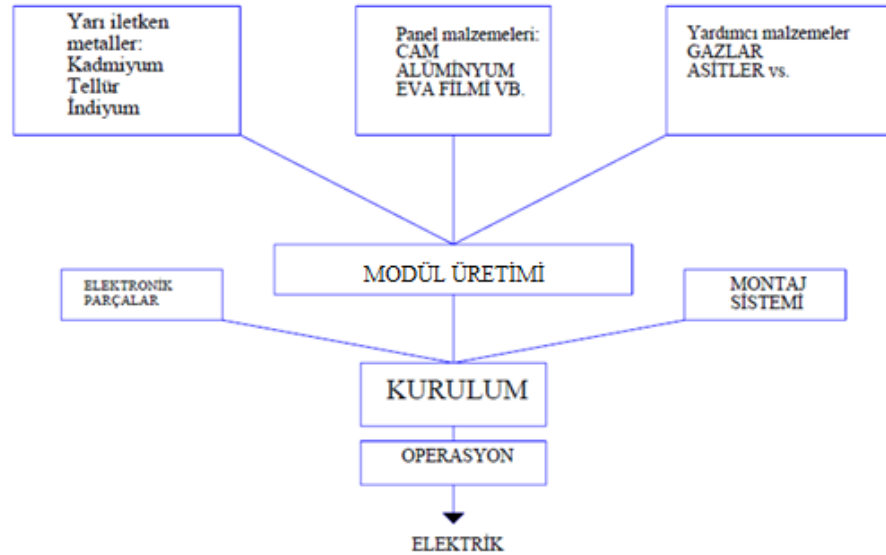
Tablo 4.10: Güneş paneli üretimi sırasında sisteme giriş yapan ve sistemden çıkış yapan unsurlar unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012) (Wild-Scholten, 2014)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Şebekeden orta gerilimde elektrik(kWh)	Atık; Isı (MJ)
Endüstriyel fırınlarda düşük NOx'lerde yanmış doğalgaz > 100kW (MJ)	
Yapı makinelerinde yanmış durumdaki dizel (MJ)	
Musluk suyu (kg)	%22,9'u su katı atık(kg)
Temperlenmiş düz cam (kg)	%0,2'si su polivinilflorür(kg)
Bakır (tel çekilmiş) (kg)	%15,3'i su plastik karışım (kg)
Fotovoltaik silikon hücre (m ²)	Tehlikeli atıklara kullanılmış mineral yağ (%10 su) (kg)
Alüminyum alaşım, (AlMg ₃) (kg)	Aritılmış su (m ³)
Nikel, %99,5(kg)	Karbondioksit(fosil)
Kalay-Kurşun-Gümüş-Diyot (kg)	NMVOG, metan dışı uçucu organik bileşikler belirtilmemiş kökenli (kg)
Kadmiyum içermeyen lehimleme lehim(kg)	
Düşük demir özellikli solar cam(kg)	
Bakır(kg)	
Etil vinilasetat (folyo) (kg)	
Enjeksiyonlu kalıplama için cam elyaf takviyeli plastik (poliamid) (kg)	
Polivinilflorür film(kg)	
Silikon ürün(kg)	
Granül şeklinde polietilen tereftalat (amorf) (kg)	
Granül polietilen (HDPE)(kg)	
Aseton(sıvı) (kg)	
Metanol(kg)	
Vinil asetat(kg)	
Yağlama yağı(kg)	
Propanol(kg)	
Düz palet(ünite)	
Hidrojen florid,	
İzopropanol	
Potasyum hidroksit- Sabun	
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	
Tek cidarlı karma elyaf oluklu mukavva(kg)	

4.2.1.3 İnce Film PV Modüllerinin Üretim Prosesleri

İnce film teknolojileri için (CdTe ve CIS), foto aktif ‘p/n’ birleşme noktası, bir vakum buharlaştırma işlemi yoluyla temizlenmiş bir substrat camı üzerine aşırı ince tabakalara doğrudan biriktirilen iki yarı iletken bileşik, CdTe veya CuInSe₂ ve CdS'den oluşur. Bitişik ‘p/n’ bağlantılarının seri bağlantısı, bir dizi otomatik lazer ve mekanik çizme işlemi ile gerçekleştirilir ve daha sonra bitmiş modülü oluşturmak için üstüne ikinci bir koruyucu cam panel eklenir. İnce film PV modüllerinin üretim akış çizelgesi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

CdTe'nin üretim işlemlerini aşağıdaki şekilde tarif edilmiştir: ilk olarak, şeffaf bir iletken oksit (TCO) katmanı, temizlenmiş bir substrat camı üzerinde biriktirilecektir. Daha sonra organik kadmiyum bileşiğine sahip CdS katmanı, metalik kimyasal buhar biriktirme (MOCVD) ile TCO katmanı üzerinde biriktirilir. CdS katmanı üzerinde bir lazer ile oluklar üretildikten sonra, atmosferik basınç kapalı aralıklı süblimasyon tekniği kullanılarak CdTe katmanı oluşturulur. Bu işlemi CdCl₂ ile gerçekleştirilen bir termal işlem izler ve ardından mekanik desenleme yapılır. Son olarak, CdS / CdTe güneş pili hem karbon hem de gümüş kontaklarla serigrafik baskı ile tamamlanır (Peng ve arkadaşları 2012).



Şekil 4.4: İnce film PV modülü üretim şeması (Peng ve arkadaşları, 2012)

4.2.1.4 Kadmiyum Tellürid(CdTe) Güneş Panelleri Yaşam Döngüsü

İnce film fotovoltaik modüller şimdiye kadar yalnızca sınırlı sayıda şirket tarafından üretilmektedir. CdTe ve diğer ince film teknolojilerinin teorik faydaları uzun zamandır bilinmektedir. CdTe'nin benzersiz fiziksel özellikleri, güneş enerjisini faydalı elektriğe dönüştürmeyi yararlı kılar. CdTe doğrudan bir bant aralığı yarı iletkenidir. CdTe, yarı iletken malzeme gereksiniminin yaklaşık %1'i ile güneş enerjisini elektrik enerjisine tarihsel teknolojilerle karşılaştırılabilir bir verimlilik oranında dönüştürebilir. Güneş pilleri güneş enerjisini elektriğe dönüştürmede, hücre sıcaklıkları arttıkça daha az verimli hale gelir. Bununla birlikte, CdTe'nin verimliliği hücre sıcaklığı artışlarına karşı daha az hassastır, CdTe güneş modüllerinin yüksek ortam (ve dolayısıyla yüksek hücre) sıcaklıklarında nispeten daha fazla elektrik üretmesini sağlar. CdTe ayrıca düşük ve dağınık ışığı emer ve daha verimli bir şekilde bulutlu havalarda ve geleneksel hücrelerin daha az verimli çalıştığı şafak ve alacakaranlık koşullarında elektriğe dönüştürür. Pahalı özel ekipmanlara ihtiyaç duymadan, otomatik yüksek verimli üretim süreçleri CdTe ile başarıyla kullanılmıştır. Kadmiyum ve tellürümü stabil, inert bir yarı iletkene dönüştürmek CdTe elde edilir. Her iki element materyal de madencilik işlemlerinin yan ürünleri olarak üretilir. Yaşam döngüsü analizinde temel girdi adımları şöyle sıralanabilir (Jungbluth ve arkadaşları,2012).

- Elektrik: Elektrik üretimi, modül üretimi sırasında en önemli enerji kullanımınıdır. Modül işleme, genel gider işlemleri ve ofis kullanımı, elektrik talebine ana katkı maddeleridir. Modül işleme, film biriktirme, dağlama, temizleme ve modül montajını içerirken, genel giderler arasında çevresel kontrol, aydınlatma, sağlık ve güvenlik kontrolleri bulunur.
- Kimyasallar: Üretim sürecinde kimyasallar, işletme ve bakım sırasında temizlik, dağlama ve atık işleme; bunlar arasında sülfürik asit, nitrik asit, izopropil alkol, sodyum hidroksit ve cam temizleyiciler bulunur.
- Sarf Malzemeleri: CdTe üretim tesisinde kullanılan sarf malzemeleri, üretim malzemeleri, tamir ve bakım malzemeleri ve güvenlik malzemeleri içerir. Ana üretim kaynakları arasında teller, kaynak çubukları ve filtreler bulunurken, tamir ve bakım malzemeleri arasında kablolar, kablo bağları,

cıvatalar, somunlar, vidalar ve rondelalar bulunur. Güvenlik malzemeleri arasında gözlükler, koruyucu dişliler ve eldivenler bulunur.

- Su Kullanımı: Üretim sürecinde su kullanımı cam / alt tabaka ve modül temizliği, kimyasal çözeltiler ve laboratuvar kullanımları ile ilişkilidir.

Atıklar konusunda ise; kullanılan tüm sular dahili bir atık su tesisinde arıtılmaktadır. Daha sonra atık su, kanalizasyon şebekesine veya su yüzeyine salınmaktadır. Kadmiyumun ise hava ve suya emisyonu bulunmaktadır (Jungbluth ve arkadaşları,2012). Tablo 4.11’de Kadmiyum tellürid güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler unsurlar gösterilmiştir (Jungbluth ve arkadaşları, 2012).

Tablo 4.11: Kadmiyum tellürid (CdTe) güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler unsurlar (Jungbluth ve arkadaşları, 2012)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Şebekeden orta gerilimde elektrik(kWh)	%22,9’u su katı atık(kg)
Kazan modülasyonunda yakılan doğal gaz >100 kW (MJ)	%15,3’i su plastik karışım (kg)
Musluk suyu (kg)	Arıtılmış su (m ³)
Temperlenmiş düz cam(kg)	Atık; Isı (MJ)
Bakır (kg)	Kadmiyum(kg)
Silikon ürün (kg)	Kadmiyum iyon (suya) (kg)
Solar cam (düşük demir) (kg)	
Kaplamasız düz cam(kg)	
Enjeksiyonlu kalıplama için cam elyaf takviyeli plastik, poliamid (kg)	
Etil vinilasetat (folyo) (kg)	
Yarı iletken dereceli kadmiyum tellürür (kg)	
Yarı iletken dereceli kadmiyum sülfür(kg)	
Nitrik asit, %50 H ₂ O (kg)	
Sülfürik asit, sıvı(kg)	
Silika kumu(kg)	
Toz halinde sodyum klorür(kg)	
Hidrojen peroksit, %50 (H ₂ O içinde) (kg)	
İzopropanol(kg)	
Sodyum hidroksit, %50(H ₂ O içinde) (kg)	
Organik ve inorganik kimyasallar(kg)	
Azot(sıvı) (kg)	
Helyum (kg)	
Tek cidarlı oluklu mukavva (karışık elyaf) (kg)	
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	

4.2.1.5 Bakır indiyum selenidi CI(G)S fotovoltaik paneller

CIS terimi, kimyasal bir bileşimin kısaltmasıdır. Bu, bu malzeme bileşimini oluşturan elementlerin başlangıç harflerini içerir örneğin; C- Cu (bakır), I- indiyum, S- selenyum. Bazen bu tür teknolojiler için kullanılan bir diğer ifade ise C1gs o da galyum eklentisi anlamına gelir. İki veya üç metalin (örneğin bakır, çinko veya demir) selenyum, kükürt veya tellür ile birleştirildiği bir yapı ve bileşime sahip malzemeler, doğada cevher mineralleri olarak bol miktarda bulunur. Bu nedenle selenyum, kükürt ve tellür elementleri, aynı zamanda kalojenler olarak da bilinir ve metalleri olan bileşikler, kalkojenitler olarak adlandırılır. Kristal yapısının bir sonucu olarak, CIS, $CuInSe_2$ kimyasal formülü ile, kalkopiritler ailesine aittir. CIS bileşikleri güneş ışığını kolayca emebildiği için (bu, derin siyah görünümünden anlaşılır), silikon devre levhaların ince tabakaları, gelen güneş ışığını tamamen emmek ve ışığı elektrik akımına kısmen dönüştürmek için yeterlidir. 1 ila 2 μm kalınlığındaki bu fotovoltaik aktif katman kısmen şeffaf fakat iletken ve benzer şekilde ince elektrot katmanlarının katmanları arasına gömülmüşse, CIS bileşik yarı iletkenine dayanan bir CIS (ince film) güneş pilinden bahseder. Tablo 4.12’de bakır indiyum selenidi (CIGS) güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler gösterilmiştir (Jungbluth ve arkadaşları, 2012).

Tablo 4.12: Bakır indiyum selenidi(CIGS) güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler (Jungbluth ve arkadaşları, 2012)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
Şebekeden orta gerilimde elektrik(kWh)	Atık; Isı (MJ)
Kazan modülasyonunda yakılan doğal gaz >100 kW (MJ)	
1 mW endüstriyel fırında yanmış hafif akaryakıt (MJ)	
Musluk suyu (kg)	Kadmiyum(kg)
Temperlenmiş düz cam(kg)	%9,4'u su inorganik silisyum atık(kg)
CIS fotovoltaik laminant(m ²)	%15,3'i su plastik karışım (kg)
Bakır(kg)	%5 'i su tepkimesiz atık(kg)
Alüminyum alaşım AlMg ₃ (kg)	%0'ı su cam atık(kg)
Üretim karşımı alüminyum(kg)	Kanalizasyona gönderilen atık su (m ³)
Kaplanmamış düz cam(kg)	Cam üretiminden artılıp temizlenen su(m ³)
Diyot(kg)	Modül materyalleri (kg)
Silikon ürün(kg)	
Molibden(kg)	
Yarı iletken dereceli kadmiyum sülfid (kg)	
Yarı iletken dereceli galyum(kg)	
Selenyum(kg)	
Kadmiyum sülfid, yarı iletken dereceli(kg)	
Birincil çinko(kg)	
Kalay(kg)	
Solar cam (düşük demir) (kg)	
Etil vinil asetat (folyo)	
Cam elyaf takviyeli plastik, poliamid, (enjeksiyonlu kalıplama) (kg)	
Fabrikasında akısı (dalga lehimleme)	
Çinko oksit(kg)	
Bakır tel çekme(kg)	
Granül polietilen (HDPE) (kg)	
Polivinilbütrol folyo(kg)	
Polifenilen sülfid(kg)	
Granülat polietilen tereftalat (amorf) (kg)	
Argon(sıvı)-Aseton(sıvı)-Azot(sıvı) (kg)	
Amonyak(sıvı) (kg)	
Diboran(kg)- Butil akrilat(kg)	
Sülfürik asit(sıvı)	
Hidrojen sülfid, H ₂ S(kg)	
Sodyum hidroksit, %50 H ₂ O (kg) (kg)	
Hidrojen peroksit, %50 (H ₂ O içinde) (kg)	
Hidrolik asit, %30 H ₂ O (kg)	
Üre, olarak 'N'(kg)	
Düz palet(ünite) (kg)	
Taşıma türüne göre işlemler (tkm) (kg)	

4.2.1.6 Amorf silikon (a-Si)

Amorf silikon (a-Si), kristalimsi muadillerine göre daha verimli ışık absorbe ettiği için, a-Si güneş hücresi kalınlığı, geleneksel hücrelere göre 100 kat daha az olabilir. Esnek, paslanmaz çelik bir alt tabaka ve polimer bazlı enkapsülasyonlar kullanarak, bu teknolojiyi kullanan PV ürünleri hafif, esnek ve dayanıklıdır. Üretim süreci, tekil ve çoklu bağlantı teknolojileri arasında ayırt edilebilir. Bunlar farklı kalınlıklara ve farklı verimlere sahiptir. Özellikle, üçlü kavşak için verimlilik, tek kavşaktan daha yüksektir. Ayrıca, üçlü kavşak kapalı gökyüzü ile daha iyi çalışabilir. Hücre, düşük sıcaklıklarda buhar biriktirme işlemi kullanılarak biriktirilir. Geniş güneş spektrumunu daha etkili bir şekilde yakalamak için, farklı ışık emme özelliklerine sahip amorf malzemeler sürekli olarak birbiri üzerine biriktirilebilir. Bu, çok hücreli cihazın enerji dönüşüm verimliliğini artırır ve performans kararlılığını artırır. Tablo 4.13'de amorf silikon(a-Si) güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler gösterilmiştir (Jungbluth ve arkadaşları, 2012).

Tablo 4.13: Amorf silikon(a-Si) güneş panelleri üretiminde sisteme giren ve sistemden ayrılan öğeler (Jungbluth ve arkadaşları, 2012)

Sisteme Giriş Yapan Öğeler	Sistemden Çıkış Yapan Öğeler
1 mW endüstriyel fırında yanmış hafif akaryakıt (MJ)	Atık; Isı (MJ)
Şebekeden orta gerilimde elektrik(kWh)	%22,9'u su katı atık(kg)
Musluk suyu (kg)	%0,2'i su polivinilflorür(kg)
Temperlenmiş düz cam(kg)	%15,3'i su plastik karışım (kg)
a-Si fotovoltaik laminant(m ²)	Cam üretiminden artılıp temizlenen su(m ³)
Bakır(kg)	%0'i su kauçuk atık(kg)
Alüminyum alaşım AlMg ₃ (kg)	
Bakır tel çekme (kg)	
Çelik haddeleme (kg)	
Düşük alaşımlı çelik(kg)	
Kadmiyum içermez lehimleme lehim (kg)	
Yumuşak lehim (Sn ₉₇ Cu ₃) (kg)	
Granül polietilen (HDPE) (kg)	
Ambalaj filmi (LDPE) (kg)	
Polivinilflorür film(kg)	
Enjeksiyonlu kalıplama için cam elyaf takviyeli plastik (poliamid) (kg)	
Sentetik kauçuk(kg)	
Silisyum tetrahidrid(kg)	
İndiyum (kg)	
Yarı iletken dereceli kadmiyum tellür(kg)	
Fosforik asit (gübre derecesi) H ₂ O'de %70(kg)	
Oksijen(sıvı)-Hidrojen;(sıvı) (kg)	
Granül polietilen (LDPE) (kg)	
Taşıma türüne göre işlemler (tkm)	

4.2.2 PV Yaşam Döngüsü Değerlendirme Endeksleri

PV sistemi çevresel analizleri için en sık ölçülen yaşam döngüsü ölçümleri, enerji geri ödeme süresi (EPBT) ve sera gazı (GHG) emisyonlarıdır.

4.2.2.1 Enerji Geri Ödeme Süresi (EPT veya EPBT)

LCA çalışmasında, değerlendirme endeksleri eldeki amaç temelinde belirlenir. PV sistemleri elektrik ürettiğinden, yeni enerji geri ödeme süresi endeksi (EPT veya EPBT) değerlendirilebilir. EPT, sistemin yaşam döngüsü boyunca yarattığı ilk enerji tüketimini kendi enerji üretimi ile geri kazanması için geçen yıl sayısını ifade eder. EPT'yi hesaplamak için bir denklem (4.1) aşağıda gösterilmiştir.

$$EPT \text{ (years)} = \frac{E_{input} + E_{BOS}}{E_{output}} \quad (4.1)$$

E_{input} , PV modülünün kullanım ömrü boyunca birincil enerji girişidir ve modülün üretim, taşıma, kurulum, işletim ve bakımında ve ayrıca modülün kullanımdan kaldırılmasında veya geri dönüşümünde enerji gereksinimlerini içerir.(MJ); E_{BOS} , destek yapıları, kablolar, elektronik ve elektrik bileşenleri, inverterler ve bataryalar içeren sistem dengesi bileşenlerinin enerji gereksinimleridir (bağımsız bir sistem için) (MJ) ; E_{output} , PV sistemi tarafından üretilen elektrikten kaynaklanan yıllık birincil enerji tasarrufudur (MJ) (Masakazu, 2011).

4.2.2.2 Sera Gazı Emisyonları (GHGE)

CO₂ emisyon oranı, bir PV sisteminin küresel ısınma açısından ne kadar etkili olduğunu belirlemek için yararlı bir endekstir. Genel olarak, bu endeks üretim teknolojileri arasındaki karşılaştırmada kullanılır. Bir PV sistemi bir ağaçla aynı şekilde çalışmadığından, böyle bir CO₂ emisyonu geri ödemesi yoktur. Bununla birlikte, PV sistemleri ve diğer fosil yakıt üretim teknolojileri arasındaki karşılaştırmalar üzerine yapılan bazı araştırmalar, CO₂ geri ödeme süresini bir ölçü olarak kullanmıştır. Bu çalışmalarda, PV sistemleri fosil yakıtlara alternatif olarak ve

CO₂ geri kazanım süresinin hesaplanmasına olanak sağlayan CO₂ emisyonlarında karşılık gelen bir düşüş sağladığı görülmüştür. (Masakazu, 2011).

$$GHGE_{rate} = \frac{GHGE_{total}}{E_{lca-output}} = \frac{GHGE_{PV} + GHGE_{BOS}}{E_{lca-output}} \quad (4.2)$$

Burada, $GHGE_{rate}$, bir PV sistemi tarafından üretilen birim başına elektrik gücüdür (g CO₂/kWh); $GHGE_{total}$, yaşam döngüsü boyunca toplam GHGE miktarıdır (g CO₂); $E_{LCA-output}$, PV sistemi tarafından kullanım ömrü boyunca (kWh) üretilen toplam elektrik gücüdür; $GHGE_{PV}$ ve $GHGE_{BOS}$, sırasıyla PV modülleri ve BOS bileşenlerine göre toplam GHG emisyonudur. (Zhang ve arkadaşları, 2018)

Yayınlanmış birkaç yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), PV kurulumlarının ve elektrik çıkışı ile normalize edilmiş CO₂ emisyonları gibi çevresel salımlarının yaşam döngüsü enerji girişini ölçmesine rağmen, bu çalışmaların karşılaştırılması zordur. Farklı çalışmalar, farklı sınır koşulları olan farklı yöntemler kullanır, farklı veri kaynaklarına ve envanter yöntemlerine dayanır, farklı yerlerde farklı PV teknolojilerini modelleyebilir ve farklı yaşam süreleri ve analitik süreleri dikkate alır. Dolayısıyla, yayınlanan değerlerin aralığı oldukça büyüktür. (Sumper ve arkadaşları, 2011)

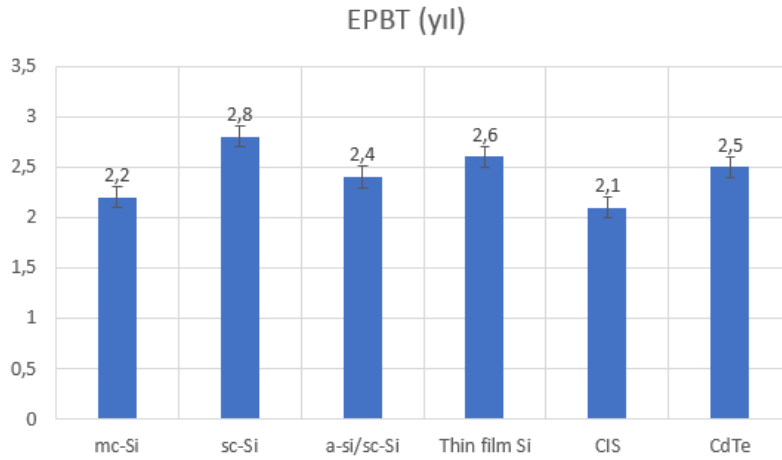
4.2.3 İncelenecek Deney Düzenekleri

Yaşam döngüsü analizi yapan programları kullanırken bilgilerin doğruluğuna ve tam olmasına dikkat edilmesi gerekir ve bu işlemler karmaşık ve zor olabilmektedir. Daha önce yapılmış ve makalesi yazılmış olan düzenekleri inceleyerek çeşitli PV modellerinin yaşam döngüsü analiz farkı incelenecektir.

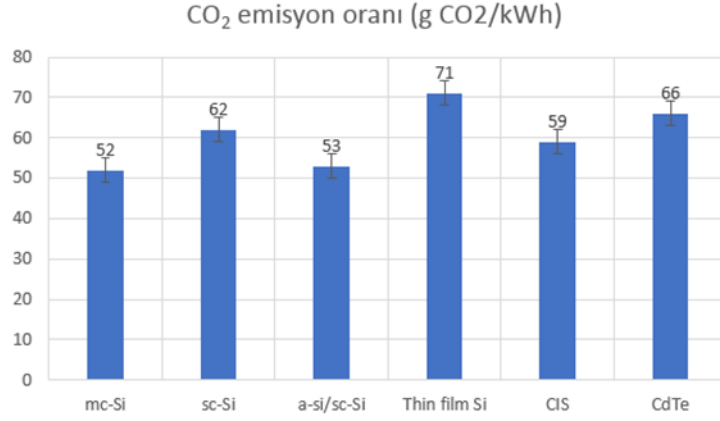
4.2.3.1 Gobi Desert/China Düzeneği

Bu araştırma diğer makalelerden farklı çünkü gerçek bir sistemden ziyade bir simülasyon çalışmasını içeriyordu. 1998 yılında başlatılmış ve ilgili değerlendirme yaklaşımları teknolojik, finansal, çevresel ve yerel halkın bakış açılarından alınmıştır. Değerlendirilen VLS-PV sistemleri 1 GW kapasiteye sahip olacaktı ve altı çeşit PV

modülü gerekiyordu: mono-kristalli silikon (mono-Si), çok kristalli silikon (mc-Si), amorf silikon / tek kristalli silikon Hetero kavşak (a-Si / sc-Si), amorf silikon / mikro kristal ince film silikon (ince film Si), bakır indiyum diselenid (CIS) ve kadmiyum tellürür (CdTe). Tesisin Çin, İç Moğolistan'daki Gobi Çölü'nde Hohhot'da olduğu varsayılmıştır. Yıllık ışınımın $1.702 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{yıl}$ olduğu ve 30 derecelik eğim açısındaki düzlem içi ışınlanmanın $2.017 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{yıl}$ olduğu varsayılmıştır. Yıllık ortalama ortam sıcaklığı $5,8 \text{ }^\circ\text{C}$ idi. VLS-PV sisteminin donanımının çoğunun Japonya'da üretildiği ve kargo gemisi tarafından taşındığı varsayılmıştır. Bununla birlikte, dizi yapısının temelini ve çeliğin Çin'de üretildiği varsayılmıştır. Bu malzemeler için karayolu taşımacılığının 600 km 'lik bir mesafe içinde olduğu ve deniz taşımacılığının 1.000 km 'yi kapsadığı varsayılmıştır. VLS-PV sisteminin ömrünün 30 yıl olduğu, invertörün 15 yıl olduğu varsayılmıştır. Ekipmanın kullanım ömrünün sona ermesinden sonra, hepsinin bir enkaz bahçesine taşınacağı ve depolama alanı olarak kullanılacağı varsayılmıştır. Bu verilen bilgiler işlenerek bulunan EPBT ve GHGE değerleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir (Masakazu, 2011).



Şekil 4.5: Altı tip PV modülüne sahip VLS-PV sisteminin enerji geri ödeme süresi (Masakazu, 2011).



Şekil 4.6: Altı tip PV modülünün CO₂ emisyon oranı (Masakazu, 2011).

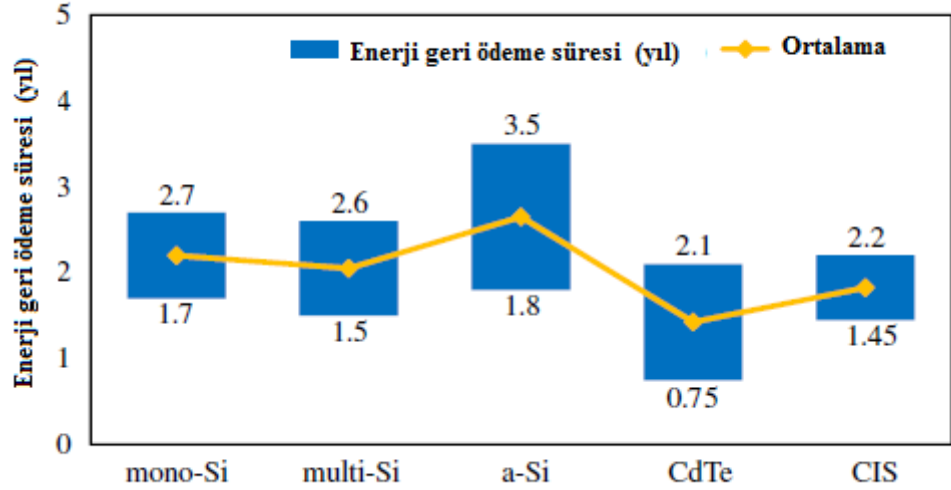
İncelenen sistemde enerji geri ödeme süreleri (EPBT) 2,1-2,8 yıl arasında olmuş ve en iyi dönüşü CIS ince film PV sistemleri vermiştir. Buna ek olarak CO₂ sera gazı oranları (GHGE) 52 – 71 g CO₂/kWh arasında değişiklikler göstermiş olup en düşük CO₂ salınımı değerini multikristalin PV sistemleri vermiştir. PV sistemlerinin ömrü 20 yılı aştığından, düşük EPBT, bir sistemin kendisi için daha hızlı ödemek için gereken enerjiyi geri kazanabileceği anlamına gelir. CO₂ emisyon oranları için bu rakamlar aynı zamanda fosil yakıt santralleri için olanlardan çok daha düşüktür. Bu nedenle, PV sistemlerinin küresel ısınmayı azaltmak için önemli bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılabilir (Masakazu, 2011).

4.2.3.2 Peng ve Arkadaşları 2005 Sonrası Verilerle Yaptığı Araştırma

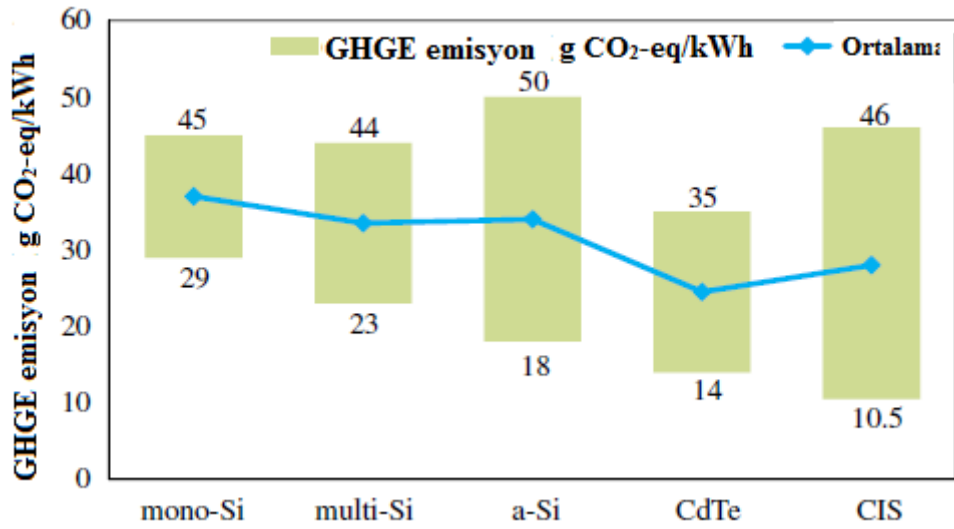
Jinqing Peng, Lin Lu, Hongxing Yang'ın beraber yapmış olduğu çalışma sonuçlarını irdelenerek ve PV sistemleri arasındaki karşılaştırmalar yaparak birbirleri arasındaki farklar incelenmiştir.

PV endüstrisi için 2005 öncesi ve ayrıca silikon devre levhası (wafer) üretimi için farklı enerji tahsis durumlarının, erken çalışmalarda enerji gereksiniminde büyük bir fark yarattığı tespit edildi. Bu nedenle, kristalin silikon PV modülleri için, bu hesaplamada yalnızca 2005'ten sonraki sonuçlar benimsenmiştir. Farklı PV teknolojilerinin enerji faydalarını ve çevresel etkilerini karşılaştırmak için, çalışılan 5 PV teknolojisinin EPBT, sera gazı emisyon oranlarının gözden geçirme sonuçları ve PV sistemleri için yaşam döngüsü boyunca enerji gereksinimleri süresi sırasıyla Şekil

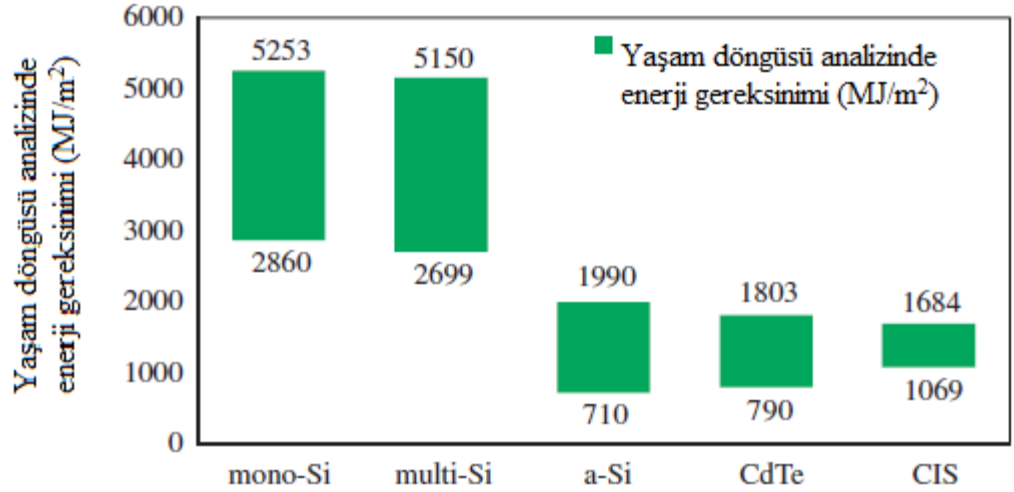
4.7, Şekil 4.8'de ve Şekil 4.9'da verilmiştir. Önemli noktayı tekrar edecek olursak 2005 sonrası literatürler dikkate alınmaktadır. Bu makalede ayrıca, tüm sonuçlar, önceki bilim adamları tarafından kullanılan 1700 kW saat /m² /yıl güneş ışınımıyla normalleştirilmiştir (Peng ve arkadaşları, 2012).



Şekil 4.7: 5 farklı PV sistemlerinin enerji geri ödeme süresi (Peng ve ark., 2012)



Şekil 4.8: 5 farklı PV sistemlerinin ürettiği sera gazı oranları (Peng ve ark., 2012)



Şekil 4.9: 5 çeşit PV sistemlerinin enerji gereksinimleri (Peng ve ark., 2012)

Jinqing Peng, Lin Lu, Hongxing Yang'ın beraber yaptığı araştırmalardan çıkan sonuçları bu aşamada incelenmiştir. Yapılan çalışmada yaşam döngüsü boyunca enerji gereksinimi, enerji geri ödeme süresi ve sera gazı emisyon oranı açısından tartışılmıştır. Bulgular eşliğinde vardığımız sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Mono-Si PV (monokristal) sistemlerinde, önceki çalışmalara nazaran bu çalışmada hatırı sayılır bir değişiklik olmuştur. Yaşam döngüsü enerji gereksinimi 2860-5253 MJ / m² değerlerini vermiştir ve enerji geri ödeme süreleri 1,7-2,7 yıl arasında değerler bulunmuştur. Bu farklılıklar, esas olarak silikon saflaştırma ve kristalizasyon prosesleri için enerji tahmininden kaynaklanmıştır. Sera gazı emisyon oranı, fosil bazlı elektrik enerjisinden yaklaşık olarak daha küçük bir sipariş seviyesinde olmuştur bu değer 29-45g CO₂ olarak tahmin edilmiştir.
- Multi-Si PV (polikristal) sistemi için, toplam enerji gereksiniminin 2699–5150 MJ / m² olduğu tahmin edilmiş olup enerji geri ödeme süresi ve sera gazı emisyon oranı sırasıyla 1,5-2,6 yıl ve 23–44 g CO₂/kWh olarak tahmin edilmiştir.

İnce film PV sistemlerinde (a-Si, CdTe ve CIS), yaşam döngüsü toplam enerji girişi 710-1990 MJ / m² arasında değişmiştir. Sonuç olarak enerji geri ödeme süresi ve sera gazı emisyon oranı sırasıyla 0,75–3,5 yıl ve 10,5–50 g

CO₂/kWh olarak tahmin edilmiştir. Üç ince film PV sistemleri arasında, CIS en yüksek miktarda birincil enerji tüketmiştir ve a-Si, düşük dönüşüm verimliliği nedeniyle en uzun enerji geri ödeme süresine sahiptir. CdTe en kısa enerji geri ödeme süresine ve en düşük çevresel etkilere sahip olduğu tahmin edilmiştir

5. PV SİSTEMLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

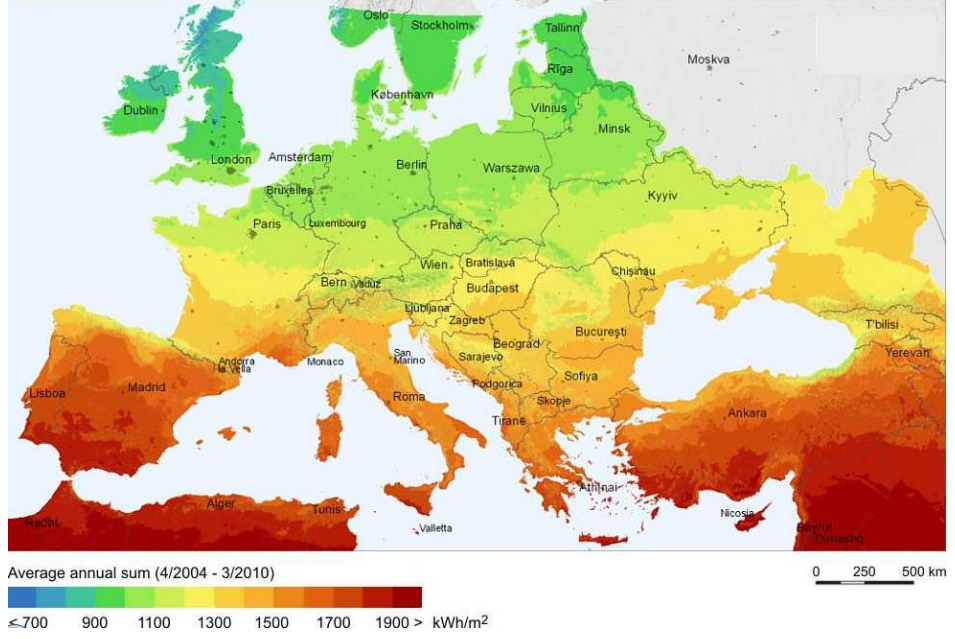
Dünyada güneş enerji sektörü günden güne gelişmektedir. Güneş enerjisinden elektrik etme yönteminden her 5 yılda büyük gelişmeler ve üretimde büyük artışlar meydana gelmektedir. Tartışmasız güneş enerjisi yatırım yapan ülkeler arasında Çin’inde girmesiyle sektör başlı başına değişmiş Çin önde gelen ülke konumuna gelmiştir. Başta gelen ülkeler arasında Çin, Amerika, Hindistan ve Japonya gelmektedir. Ülkemizde bu enerji konusunda yatırımlarını arttırmış teşviklerle beraber kendine sıralamalarda yer bulmuştur. Şekil 5.1’de Solar sistemlerin dünyadaki gigawatt ölçekli pazarları gösterilmiştir (Url-6, 2019).



Şekil 5.1: Solar sistemlerin gigawatt ölçekli pazarları (Url-6, 2019)

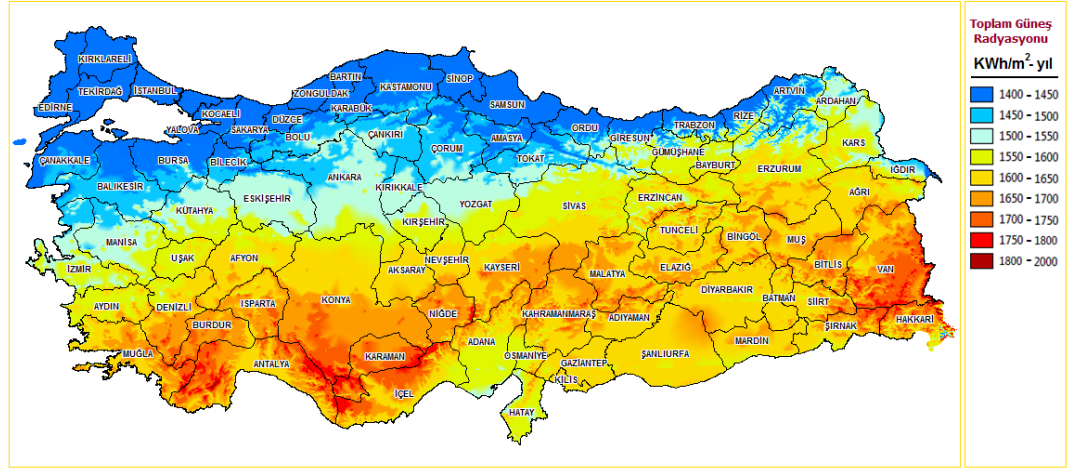
5.1 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye Avrupa ülkelerinin birçoğundan güneş enerjisi ortalaması açısından değerleri daha fazladır. Ek olarak dünya genelinde de avantajlı konuma sahiptir fakat potansiyelini şu an tam olarak yansıtamamasına rağmen gelişmek olan bir sektör ile birlikte kendine üst sıralarda yer bulmaktadır. Türkiye güney İtalya, güney İspanya ile Avrupa’nın en sıcak bölgesidir. Şekil 5.2’de Avrupa ışıınım haritası gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Avrupa ışınlm haritası(Url-7, 2019)

Türkiye'nin ışınlm haritası güneş enerjisi üretimi ve yatırımı açısından önemli olup Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Türkiye ışınlm haritası (Url-18, 2019)

Türkiye'nin ışınlm haritası bölgelere göre incelendiğinde güneş enerjisi için en uygun sistemlerin Orta Anadolu bölgesi, Akdeniz bölgesi ve Güneydoğu Anadolu bölgesi olduğu görülmektedir.

2018 yılı ilk yarısı itibarıyla ülkemizdeki kurulu güç 87.139 MW'a kadar ulaşmıştır.2018 yılı ilk yarısı bitiminde kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı;

%32,0'ı hidrolik enerji, %26,4'ü doğal gaz, %21,4'ü kömür, %7,7'si rüzgâr, %5,4'ü güneş, %1,3'ü jeotermal ve %5,8'i ise diğer kaynaklar şeklindedir. Buna ek olarak ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2018 yılı ilk yarısı itibarıyla 6.886'ya (Lisanssız santraller dahil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 636 adedi hidroelektrik, 41 adedi kömür, 232 adedi rüzgâr, 40 adedi jeotermal, 303 adedi doğal gaz, 5.422 adedi güneş, 212 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir. (Url-8, 2019)

Türkiye'de 2017 yılı sonunda istatistiklere göre toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık 20.000.000 m²'ye ulaştığı ve 823.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi ürettiği belirlenmiştir. 2017 yılında güneş enerjisinden 2,9 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2018 Haziran ayı sonundaki rakamlara göre ülkemizde lisanssız 4.703 MW, lisanslı 23 MW olmak üzere toplam PV güneş enerjisi santrali kurulu gücü 4.726 MW'tır. (Url-9 , 2019)

TEİAŞ tarafından ağustos ayından alınan verilere göre Türkiye'nin kurul elektrik gücü 87.736,8 MW'a yükselmiştir. Kurulu güç verilerine göre ağustos ayında 443,2 MW artış olmuştur. Bu değer 2018 yılının eylül ayına kadar geçen sürede 2,536,8 MW olmuştur.

Ağustos ayındaki artışta en büyük pay 330 MW güce sahip Çan-2 termik santralının devreye girmesi ile yerli kömürün oldu. Güneş 5.000 MW sınırında Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı elektrik üretim kapasitesi ise Ağustos ayında 49 MW, 2018'nin ilk sekiz ayında ise 1.372,2 MW artış gösterdi Ağustos sonu itibari ile güneşteki toplam güç ise 4.792,9 MW'a yükseldi. Ağustos ayındaki artışın en büyük pay sahibi 330 MW güce sahip ÇAN-2 (yerli kömür) termik santralının devreye girmesi olmuştur. Güneş enerjisi açısından ise ağustos ayında 49 MW, 2018 ilk sekiz ayı içerisinde ise 1,372,2 MW artış olmuştur. Ağustos ayı sonunda ise 4,792,9 MW'a yükseliş olmuştur (Url-10, 2019). Tablo 5.1'de 2018 Türkiye kurulu güç verileri gösterilmiştir.

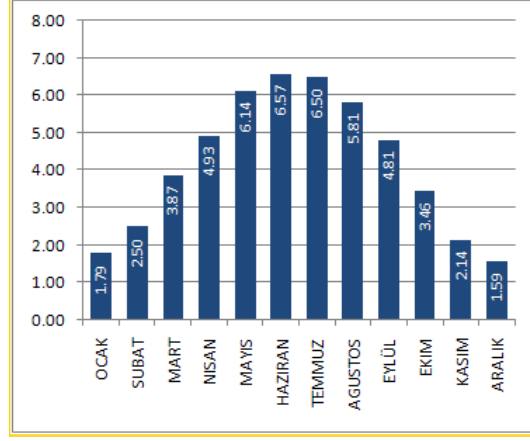
Tablo 5.1: 2018 Türkiye kurulu güç verileri (Url-10, 2019)

Ağustos, 2018 Türkiye Kurulu Güç Verileri

KAYNAK	KURULU GÜÇ(MW)
Fuel Oil + Nafta + Motorin	294
Yerli Kömür (Taş Kömürü+Linyit+Asfaltit)	10.203,5
İthal Kömür	8.793,9
Doğalgaz + LNG	22.688,3
Yenilen. +Atık +Atıksızı+Pirolitik Yağ	622,5
Çok Yakıtlılar Katı + Sıvı	697,1
Çok Yakıtlılar Sıvı + D.Gaz	3.361,2
Jeotermal	1.163,6
Hidrolik Barajlı	20.503,5
Hidrolik Akarsu	7.602,7
Rüzgar	6.685,1
Güneş	31,9
Termik (Lisanssız)	263,8
Rüzgar (Lisanssız)	57,3
Hidrolik (Lisanssız)	7,4
Güneş (Lisanssız)	4.761,0
TOPLAM	87.736,8

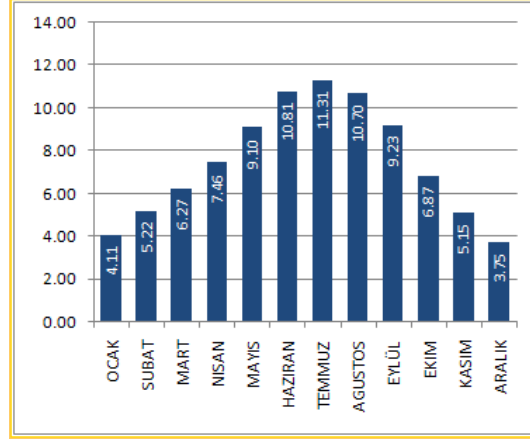
Türkiye'nin güneş enerjisinde 1 elektrik üretim kapasitesi Kasım ayı sonunda 5.002,5 MW değerine yükselmiştir. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından açıklanan verilere göre kasım ayındaki artış 78,80 MW, 2018'in ilk 11 aylık dönemindeki artış ise 1.581,80 MW oldu bu değerlerdeki lisanssız yatırımlarının payı 1.518 MW, lisanslı yatırımların payı ise 63,80 MW oldu. Türkiye'nin toplam elektrik üretim kapasitesi ise Kasım ayında 169,70 MW artmış olup 2018'in ilk 11 ayında 3.147,20 MW artmıştır ve sonuç değerinde 88.347,40 MW değerine ulaşmıştır (Url-11). Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te Türkiye'nin global radyasyon değeri ve güneşlenme süreleri gösterilmiştir.

TÜRKİYE Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



Şekil 5.4: a) Türkiye global radyasyon değerleri (Url-18, 2019)

TÜRKİYE Güneşlenme Süreleri (Saat)



Şekil 5.5: Türkiye güneşlenme süreleri (Url-18, 2019)

5.2 Analizde Kullanılan Güneş Panelleri

Bu bölümde Denizli, Erzurum ve Konya illerinde yapılacak olan enerji ve ekserji analizlerinde kullanılacak güneş panelleri verilmiştir. İki grup halinde güneş panelleri seçilmiş olup birinci durumda Denizli ilinde iki grup güneş panelleri ile enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. İkinci durumda ise birinci grup güneş panelleri ile Denizli, Erzurum ve Konya illerinde enerji ve ekserji analizler yapılmıştır buna ek olarak yorumlamalar eklenmiştir. Seçilen iki grup güneş panelleri içerisinde bir adet monokristal güneş paneli bir adet polikristal güneş paneli ve bir adet ince-film güneş paneli bulunmaktadır.

5.2.1 Analizde Kullanılan Birinci Gruptaki Monokristal Güneş Paneli

Yapılan enerji ve ekserji analizleri için monokristal güneş paneli için SHARP marka “300 Wp / Mono: NURC300” modeli seçilmiştir. Güneş panelinin özellikleri Tablo 5.2’de paylaşılmıştır. Şekil 5.6’da ise monokristal güneş panelinin şekli verilmiştir.



Şekil 5.6: NURC300 monokristal güneş paneli

Tablo 5.2: NURC300 monokristal güneş paneli

Azami güç	P_{max}	300 Wp
Açık devre gerilimi	V_{oc}	39,4 V
Maximum gerilim	V_{mp}	31,4 V
Kısa devre akımı	I_{sc}	9,97 A
Maksimum akım	I_{mp}	9,63 A
Uzunluk X genişlik X derinlik		1660 x 990 x 50 mm ³
Ağırlık		20 kg

5.2.2 Analizde Kullanılan Birinci Gruptaki Polikristal Güneş Paneli

Yapılan enerji ve ekserji analizleri için polikristal güneş paneli için SHARP marka “275 Wp / Poli: NDAK275” modeli seçilmiş ve özellikleri Tablo 5.3’de paylaşılmıştır. Şekil 5.7’de güneş panelinin şekli verilmiştir.



Şekil 5.7: NDAK275 polikristal güneş paneli

Tablo 5.3: NDAK275 polikristal güneş paneli

Azami güç	P_{max}	275 Wp
Açık devre gerilimi	V_{oc}	38,5 V
Maximum gerilim	V_{mp}	31,4 V
Kısa devre akımı	I_{sc}	9,38 A
Maksimum akım	I_{mp}	8,76 A
Uzunluk X genişlik X derinlik		1640 x 992 x 35 mm ³
Ağırlık		18,1 kg

5.2.3 Analizde Kullanılan Birinci Gruptaki İnce-Film Güneş Paneli

Yapılan enerji ve ekserji analizleri için thin-film(ince-film) güneş paneli için SHARP marka ‘‘NA-F128 (G5)’’seçilmiş ve özellikleri Tablo 5.4’de paylaşılmıştır. Şekil 5.8’de güneş panelinin şekli verilmiştir.



Şekil 5.8: NA-F128 (G5) ince film güneş paneli

Tablo 5.4: NA-F128 (G5) ince film güneş paneli

Azami güç P_{max}	128 W _p
Açık devre gerilimi V_{oc}	59,8 V
Maximum gerilim V_{mp}	45,4 V
Kısa devre akımı I_{sc}	3,45 A
Maksimum akım I_{mp}	2,82 A
Uzunluk X genişlik X derinlik	1409 mm x 1009 mm x 46 mm
Ağırlık	19 kg

5.2.4 Analizde Kullanılan İkinci Gruptaki Monokristal Panel

Yapılan enerji ve ekserji analizleri için ikinci monokristal güneş paneli için Bereket enerjinin internet sitesinde bulunan ‘parla A-MO 300’ modeli seçilmiş ve Tablo 5.5’de özelliklerini paylaşmıştır.

Tablo 5.5: Parla A-MO 300 monokristal güneş paneli

Azami güç P_{max}	300 W _p
Açık devre gerilimi V_{oc}	38,85 V
Maximum gerilim V_{mp}	33,26 V
Kısa devre akımı I_{sc}	9,52 A
Maksimum akım I_{mp}	9,03 A
Uzunluk X genişlik X derinlik	998mmx1662mmx35mm
Ağırlık	18,5 kg

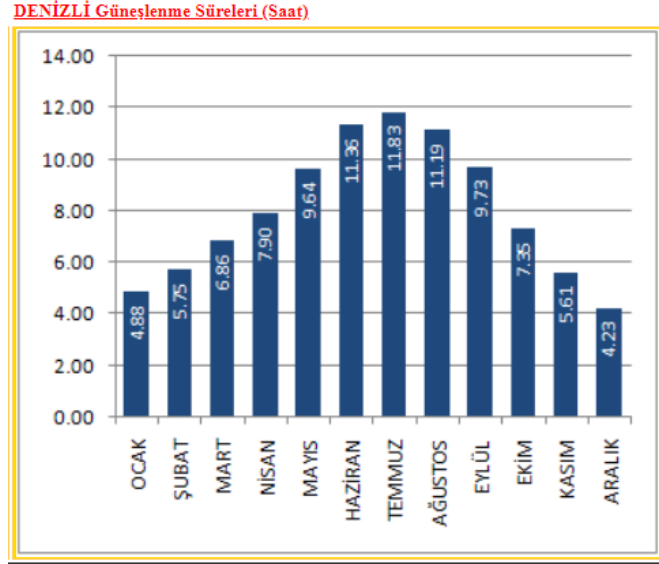
5.2.5 Analizde Kullanılan İkinci Gruptaki Polikristal Panel

Yapılan enerji ve ekserji analizleri için ikinci polikristal güneş paneli için Bereket enerjinin internet sitesinde bulunan ‘parla A-MU 275’ modeli seçilmiş ve Tablo 5.6’da özellikleri paylaşmıştır.

Tablo 5.6: Parla A-MU 275’ polikristal güneş paneli

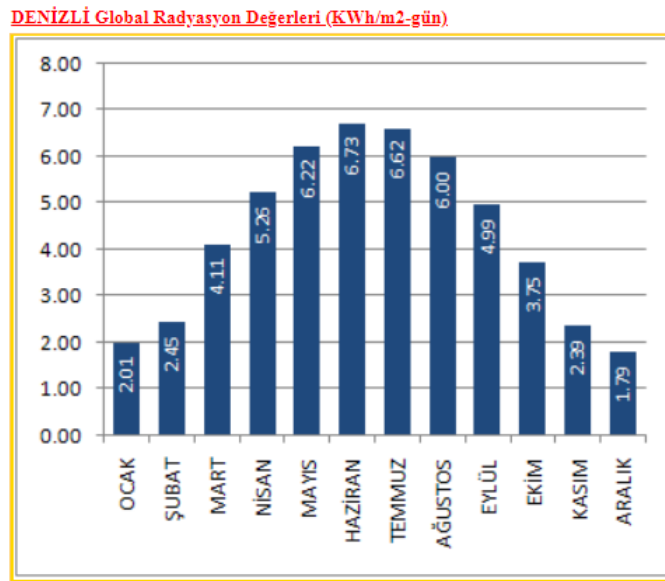
Azami güç P_{max}	275 W _p
Açık devre gerilimi V_{oc}	38 V
Maximum gerilim V_{mp}	32,55 V
Kısa devre akımı I_{sc}	8,93 A
Maksimum akım I_{mp}	8,46 A
Uzunluk X genişlik X derinlik	998mmx1662mmx35mm
Ağırlık	18,5 kg

Denizli ili aylık güneşlenme sürelerinde yaz ayının Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında yaklaşık olarak günün yarısında güneş almaktadır. Şekil 5.10'da da Denizli ilinin güneşlenme süreleri gösterilmiştir.



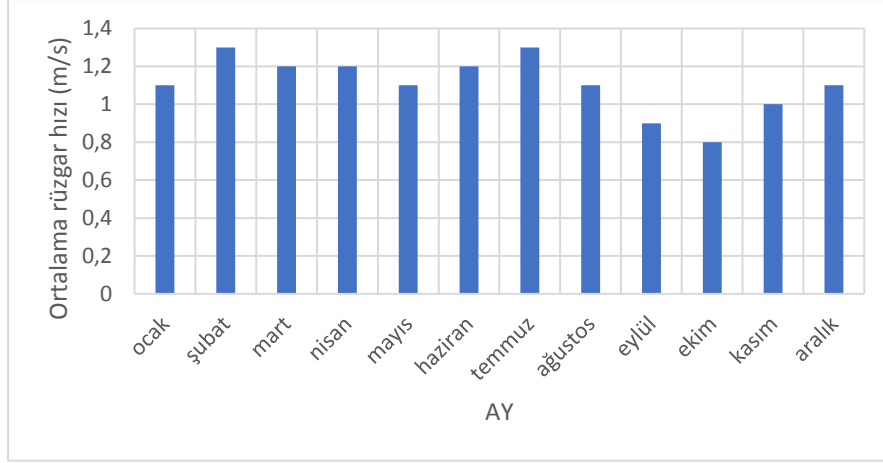
Şekil 5.10: Denizli ilinin güneşlenme süreleri (Url-18, 2019)

Değerlendirmeler açısından gün içerisinde birim alana düşen güneş ışınımı çok önemlidir. Denizli ilinin birim alana düşen ışınım değerlerine göz atıldığında Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında diğer aylardan daha yüksek olduğu görülmektedir ve Şekil 5.11'de gösterilmektedir.



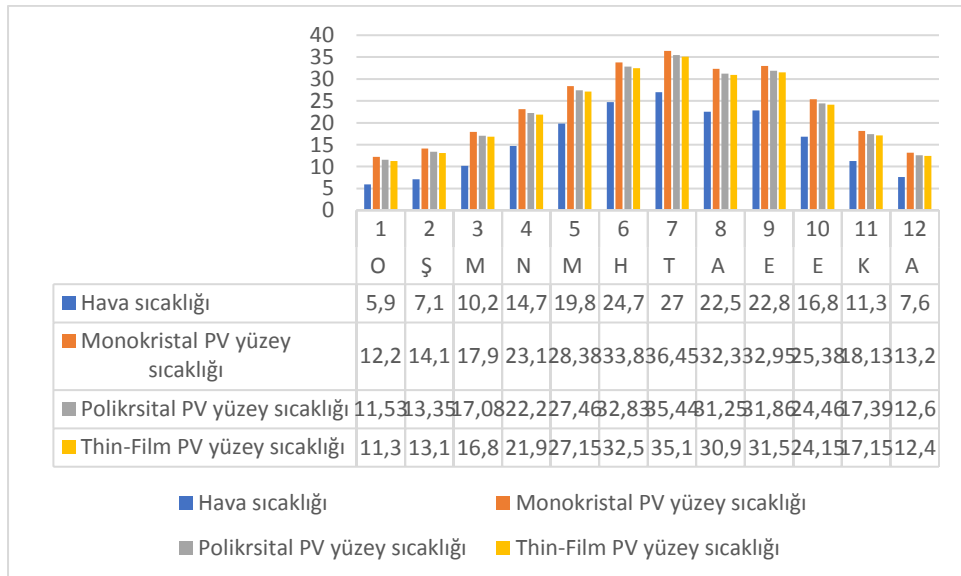
Şekil 5.11: Denizli ili global radyasyon değerleri (Url-18, 2019)

Ekserji analizinde kullanılan değerlerden biri olan rüzgâr hızı değerlerini Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Bu değer sayesinde ekserji analizinde kullanacağımız ‘ h_c ’ değerini bulurken kullanılmıştır.



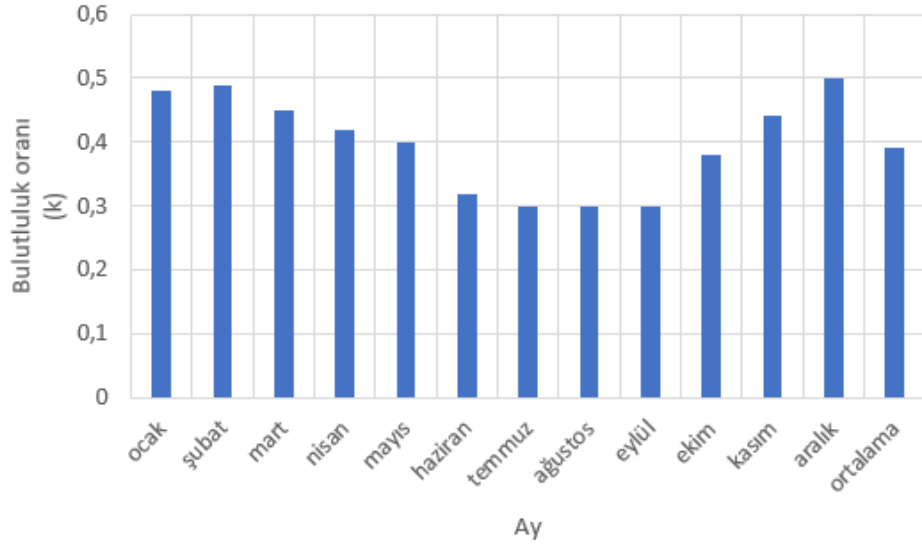
Şekil 5.12: Denizli’deki ortalama rüzgâr değerlerinin dağılımı (Yılancı,2008)

Bir önceki bölümde seçilmiş olan polikristal, monokristal ve ince- film güneş panellerinin yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı ekserji analizinde kullanılmıştır. Bu neden Denklem (3.20)’a göre hesaplanan değerler Şekil 5.13’de gösterilmiştir. Dış hava sıcaklığı için meteoroloji sitesine bakılmıştır. (Url-13). Panellerin yüzey sıcaklıkları hesaplanırken güneş pillerinin kataloglarındaki standart koşullarındaki değerlerden yararlanılmıştır



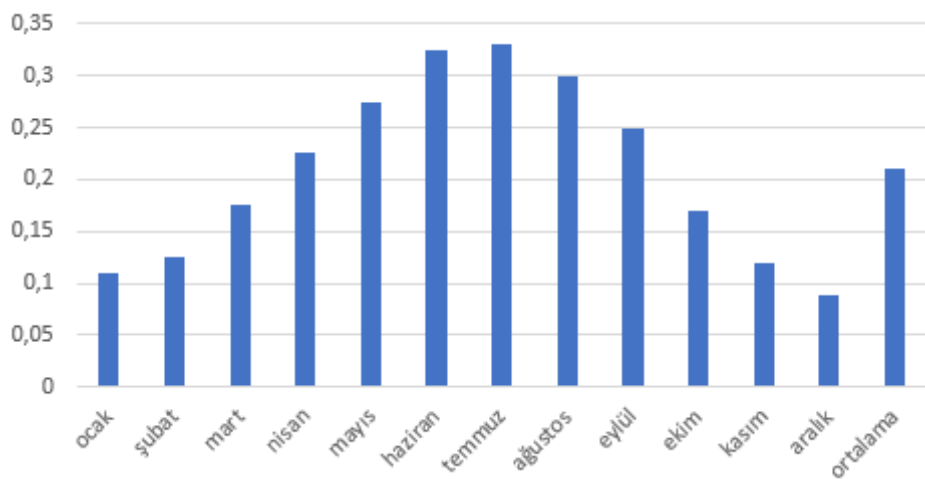
Şekil 5.13: Denizli ili monokristal, polikristal ve ince-film güneş panelleri yüzey sıcaklıkları ve Denizli ili hava sıcaklığı

Ekserji analizinde Denklem (3.17)'da bulutluluk oranı (k) değerine ihtiyacımız vardır. İşlemlerde kullanacağımız bu değeri Denizli ili aylık ve yıllık ortalama değerleri Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



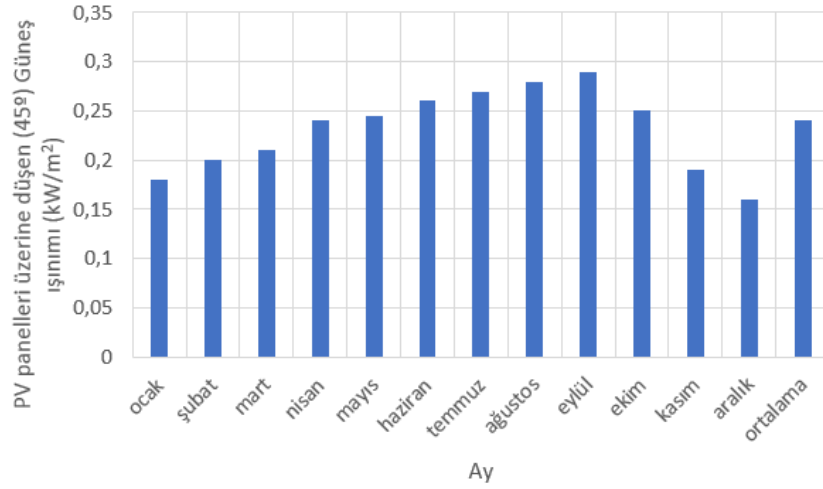
Şekil 5.14: Denizli ili bulutluluk oranı (Yılancı, 2008)

Ele alınan analizde Denizli ilini seçtiğimiz için Denizli ilinin sahip olduğu değerleri, ilin bulunduğu enlem ve boylan değerlerine göre alınacaktır. Denizli koordinatları; enlem: 37.7830 ve boylam: 29.0963 şeklindedir. Bu coğrafik bölgenin yatay yüzeyine düşen aylık ve yıllık ışınlam değerleri Şekil 5.15 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.15: Denizli ili yataya düşen aylık ve yıllık ışınlam değerleri (Yılancı, 2008)

Ekserji analizlerinde PV panelleri üzerine gelen güneş ışınımı değerinin kullanacağız. Bu değer için yataya düşen güneş ışınımı değerini ve Denklem (4.18)'yi kullanarak Şekil 5.16'daki gibi PV panelleri üzerine düşen aylık ve yıllık toplam güneş ışınımı miktarı elde edilmiştir.



Şekil 5.16: Denizli ili PV panelleri üzerine düşen ışınım miktarı (Yılancı, 2008)

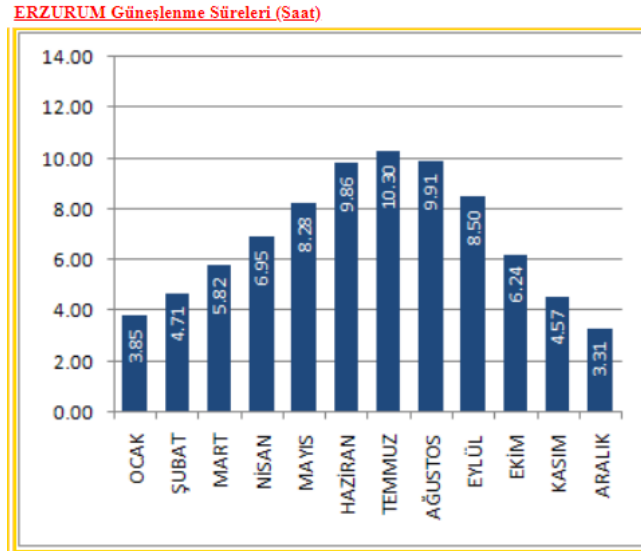
5.4 Erzurum İli Özellikleri

Şekil 5.17'de Erzurum ilinin ışınım değerinin Türkiye'deki ışınım değeri orta derecede olan iller arasında yer aldığı görülmektedir.



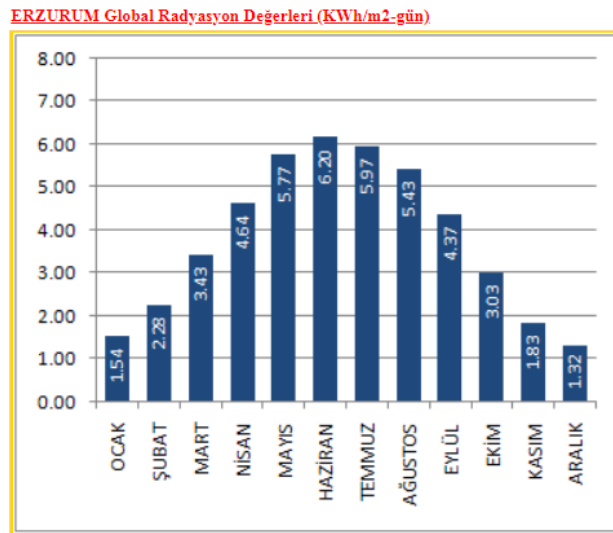
Şekil 5.17: Erzurum ilinin yıllık güneş ışınım dağılımı (GEPA)

Erzurum ilinin aylık güneşlenme sürelerinde yaz ayının Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında diğer aylara göre daha fazla güneş almaktadır. Şekil 5.18'de Erzurum ilinin güneşlenme süreleri gösterilmiştir.



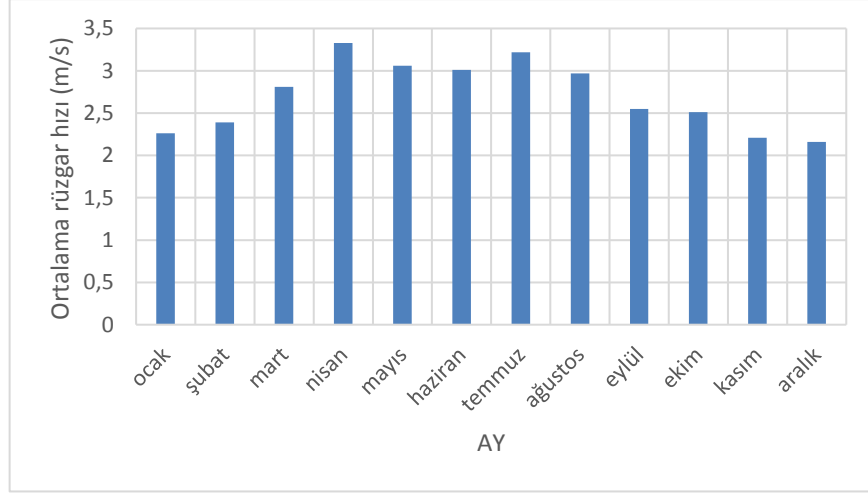
Şekil 5.18: Erzurum ilinin güneşlenme süreleri (Url-18, 2019)

Değerlendirmeler açısından gün içerisinde birim alana düşen güneş ışınımı çok önemlidir. Erzurum ilinin birim alana düşen ışınım değerlerine göz atıldığında mayıs, haziran, temmuz, ağustos aylarında diğer aylardan daha yüksek olduğu görülmektedir ve Şekil 5.19'de gösterilmektedir.



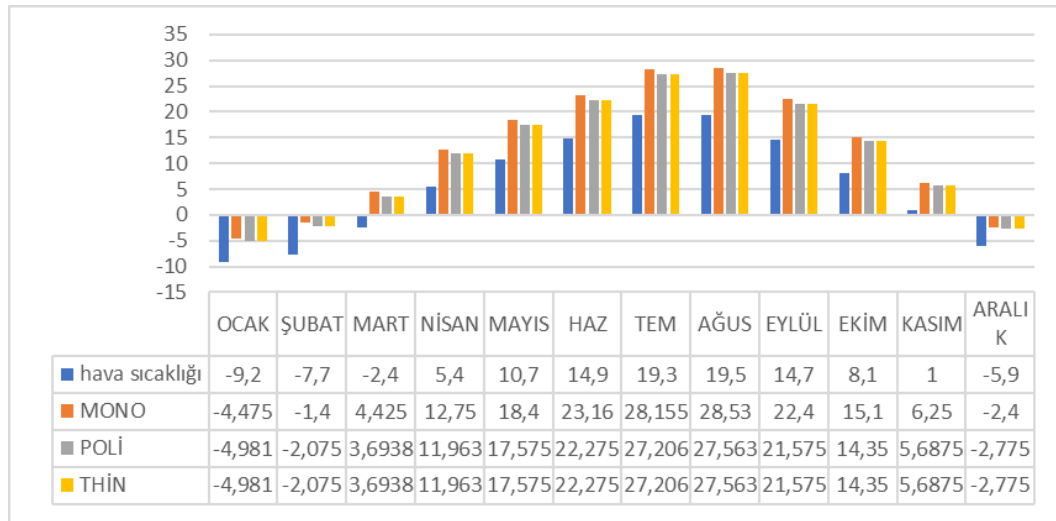
Şekil 5.19: Erzurum ili global radyasyon değerleri (Url-18, 2019)

Ekserji analizinde kullanılan değerlerden biri olan rüzgâr hızı değerlerini Erzurum ili için Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Bu değer sayesinde ekserji analizinde kullanılan ‘hc’ değerini bulurken kullanılır. (MGM)



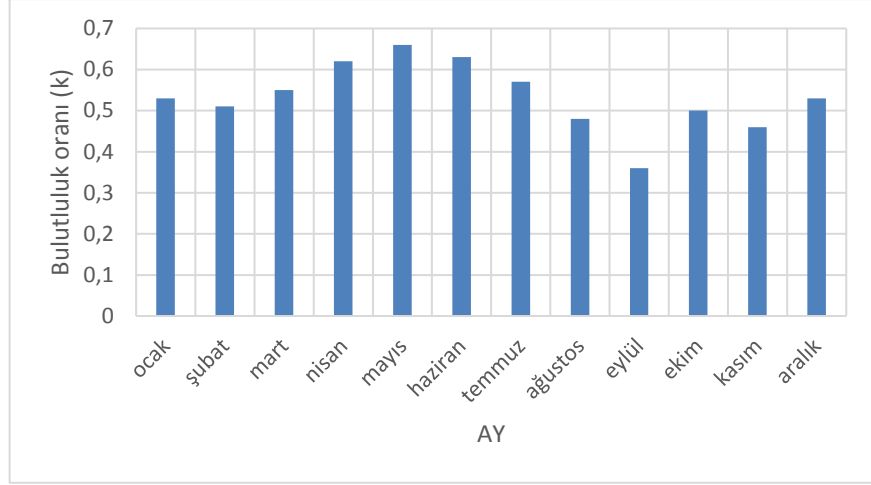
Şekil 5.20: Erzurum ilindeki ortalama rüzgâr değerlerinin aylık dağılımı

Bir önceki bölümde seçilmiş olan polikristal, monokristal ve ince-film güneş panellerinin yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı ekserji analizinde kullanılmıştır. Bu neden Denklem (3.20)’a göre hesaplanan değerler Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Dış hava sıcaklığı için meteoroloji sitesine bakılmıştır (Url-13, 2019). Panellerin yüzey sıcaklıkları hesaplanırken ise güneş pillerinin kataloglarındaki standart koşullarındaki değerlerden yararlanılmıştır.



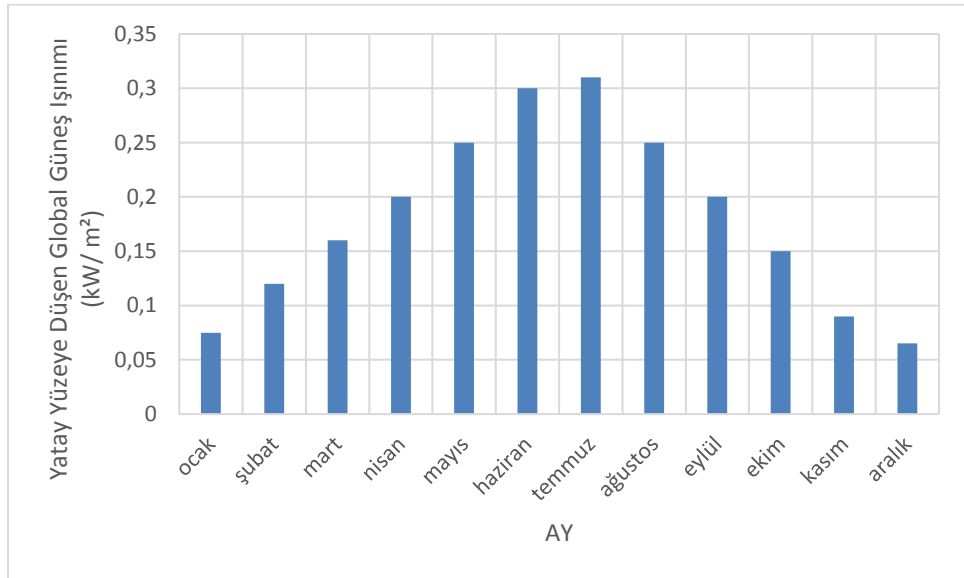
Şekil 5.1: Erzurum ilinde polikristal, monokristal ve ince-film güneş panellerinin yüzey sıcaklığı ve Erzurum ili hava sıcaklığı

Ekserji analizinde Denklem (3.17)'da bulutluluk oranı (k) değerine ihtiyacımız vardır. İşlemlerde kullanılan bu değeri Erzurum ili aylık ve yıllık ortalama değerleri Şekil 5.22'de gösterilmiştir.



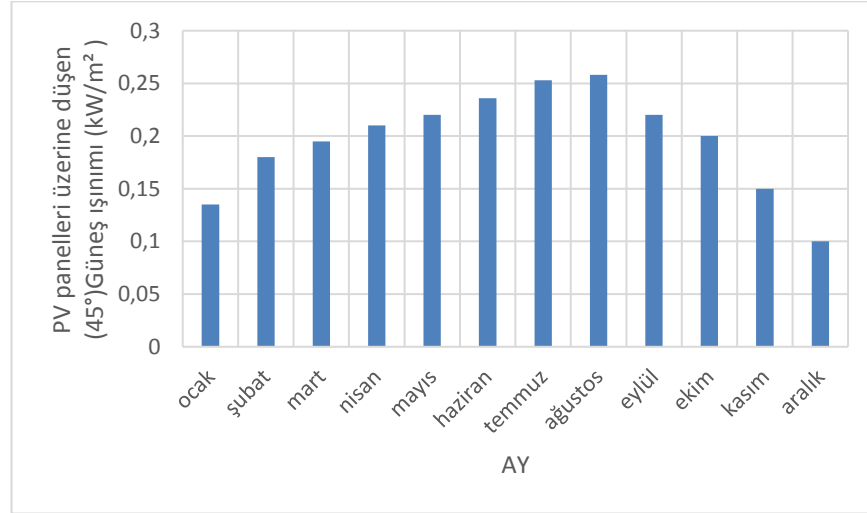
Şekil 5.22: Erzurum ili bulutluluk oranı

Erzurum ili 39,9' enlem ve 41,27' boylamlarında yer almaktadır. Bu coğrafik bölgenin yatay yüzeyine düşen aylık ve yıllık ışınım değerleri Şekil 5.23'te gösterilmiştir. (MGM, 2019)



Şekil 5.23: Erzurum ili yataya düşen aylık ve yıllık ışınım değerleri (Url-16, 2019)

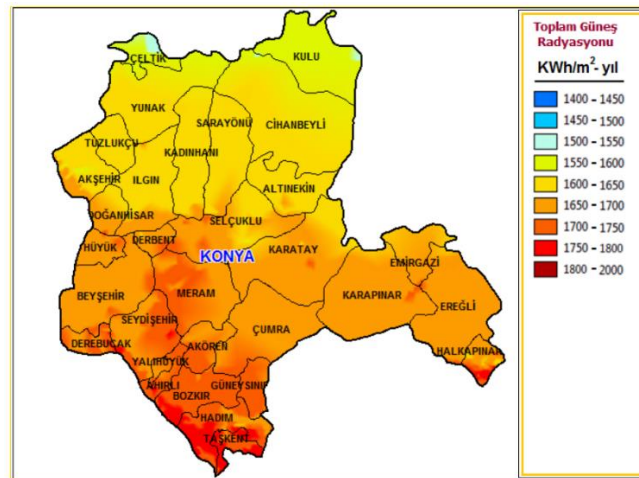
Ekserji analizlerinde PV panelleri üzerine gelen güneş ışınımı değeri kullanılmaktadır. Bu değer için yataya düşen güneş ışınımı değerini ve Denklem (3.18)'yi kullanılarak Şekil 5.24'deki gibi PV panelleri üzerine düşen aylık ve yıllık toplam güneş ışınımı miktarı elde edilir.



Şekil 5.24: Erzurum ili PV panelleri üzerine düşen ışınım miktarları

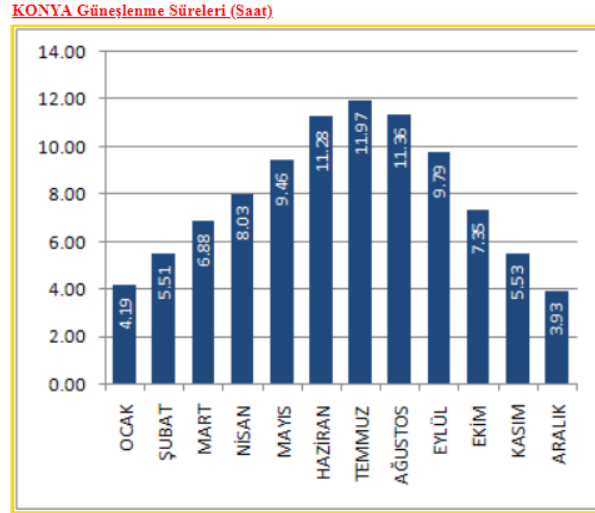
5.5 Konya İli Özellikler

Konya ilinin ışınım değerinin Türkiye'deki ışınım değeri yüksek olan iller arasında yer aldığı bilinmektedir. Güneş enerjisi potansiyel atlasına göre Konya ilinin ışınım dağılımını şekil 5.25'de gösterilmiştir (Url-18, 2019)



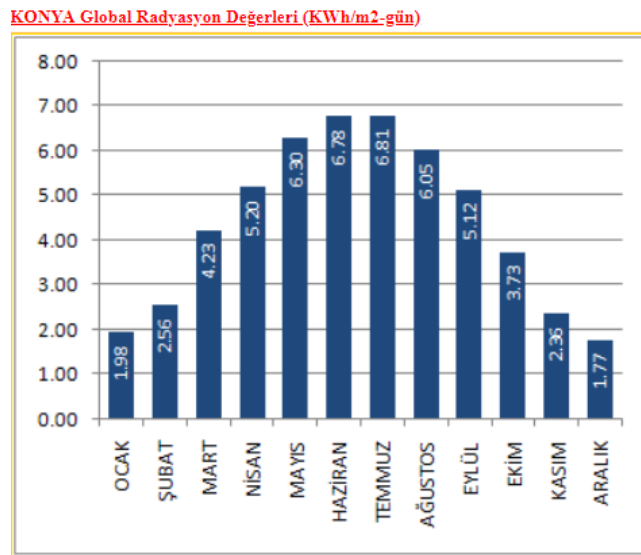
Şekil 5.25: Konya ilinin yıllık güneş ışınım dağılımı (Url-18, 2019)

Konya ilinin aylık güneşlenme sürelerinde yaz ayının Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında yaklaşık olarak günün yarısında güneş almaktadır. Şekil 5.26'da da Konya ilinin güneşlenme süreleri gösterilmiştir.



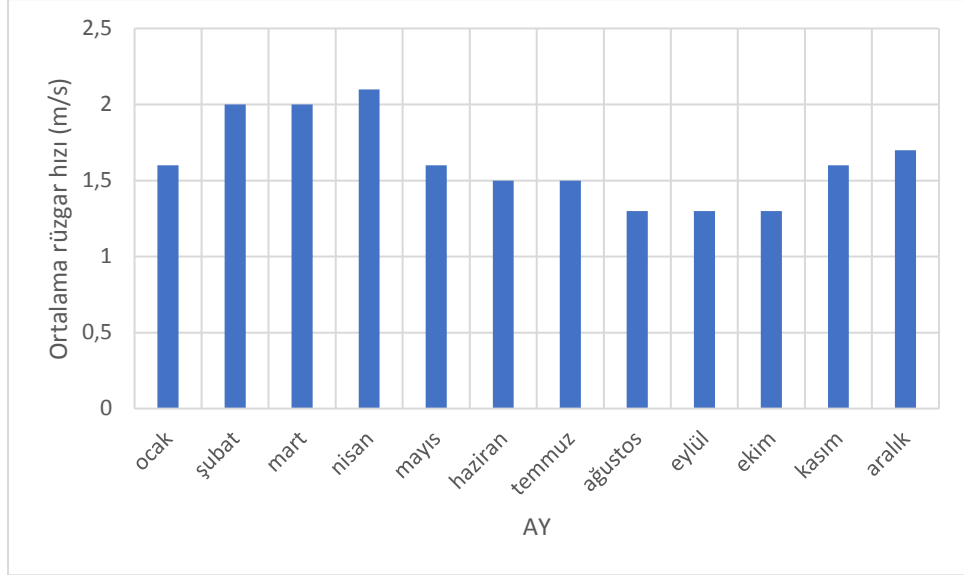
Şekil 5.26: Konya ilinin güneşlenme süreleri (Url-18, 2019)

Değerlendirmeler açısından gün içerisinde birim alana düşen güneş ışınımı çok önemlidir. Konya ilinin birim alana düşen ışınım değerlerine göz atıldığında mayıs, haziran, temmuz, ağustos aylarında diğer aylardan daha yüksek olduğu görülmektedir ve Şekil 5.27'de gösterilmektedir. (GEPA)



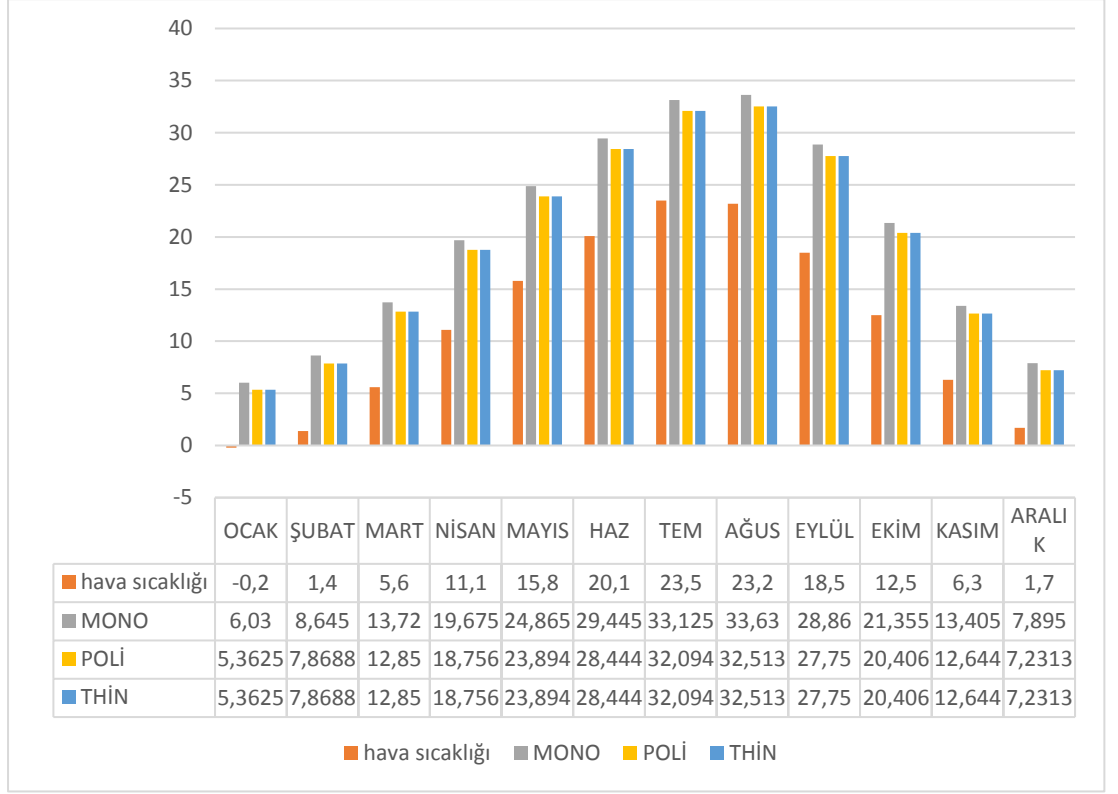
Şekil 5.27: Konya ili global radyasyon değerleri (Url-18, 2019)

Ekserji analizinde kullanılan değerlerden biri olan rüzgâr hızı değerlerini Konya ili için Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Bu değer sayesinde ekserji analizinde kullanılan ‘hc’ değerini bulurken kullanılır. (MGM,)



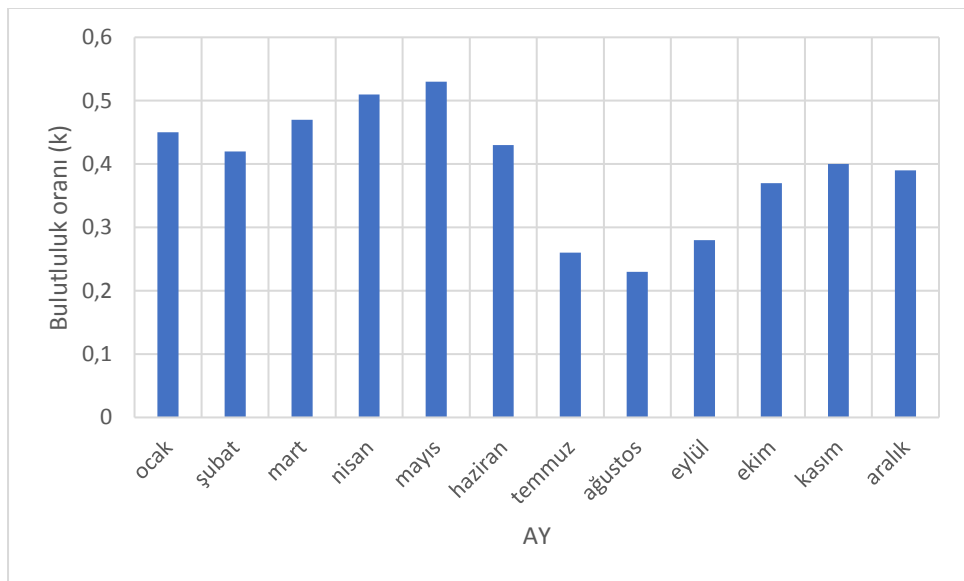
Şekil 5.28: Konya ilindeki ortalama rüzgâr değerlerinin aylık dağılımı

Bir önceki bölümde seçilmiş olan polikristal, monokristal ve ince- film güneş panellerinin yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı ekserji analizinde kullanılmıştır. Bu neden Denklem (3.20)’a göre hesaplanan değerler Şekil 5.29’da gösterilmiştir. Dış hava sıcaklığı için meteoroloji sitesine bakılmıştır. (Url-13, 2019). Panellerin yüzey sıcaklıkları hesaplanırken ise güneş pillerinin kataloglarındaki standart koşullarındaki değerlerden yararlanılmıştır.



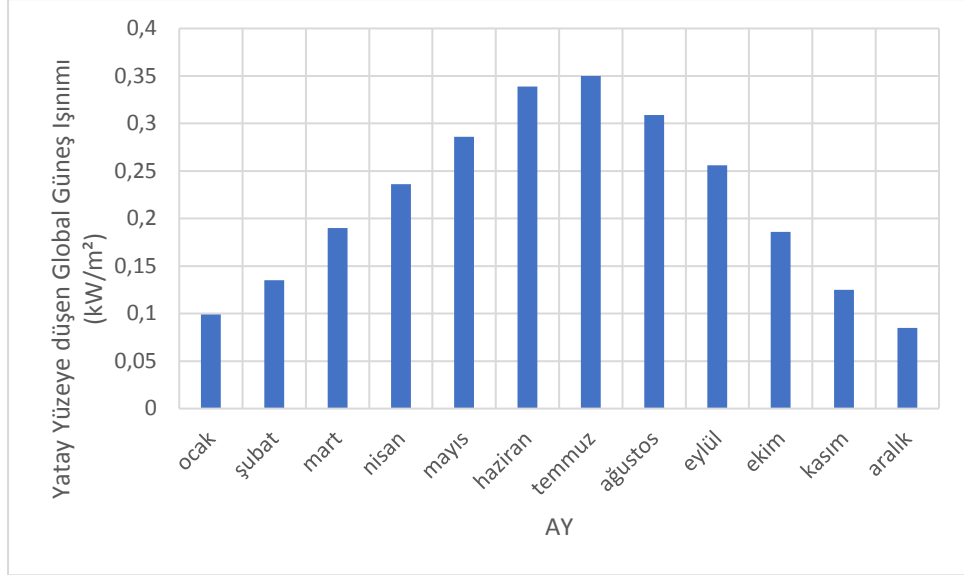
Şekil 5.29: Konya ilinde polikristal,monokrsital ve ince-film güneş panelleri sıcaklıkları ve Konya ili hava sıcaklığı

Ekserji analizinde Denklem (3.17)'da bulutluluk oranı (k) değerine ihtiyacımız vardır. İşlemlerde kullanılan bu değer Konya ili aylık ve yıllık ortalama değerleri Şekil 5.30'da gösterilmiştir. (İnan,2007)



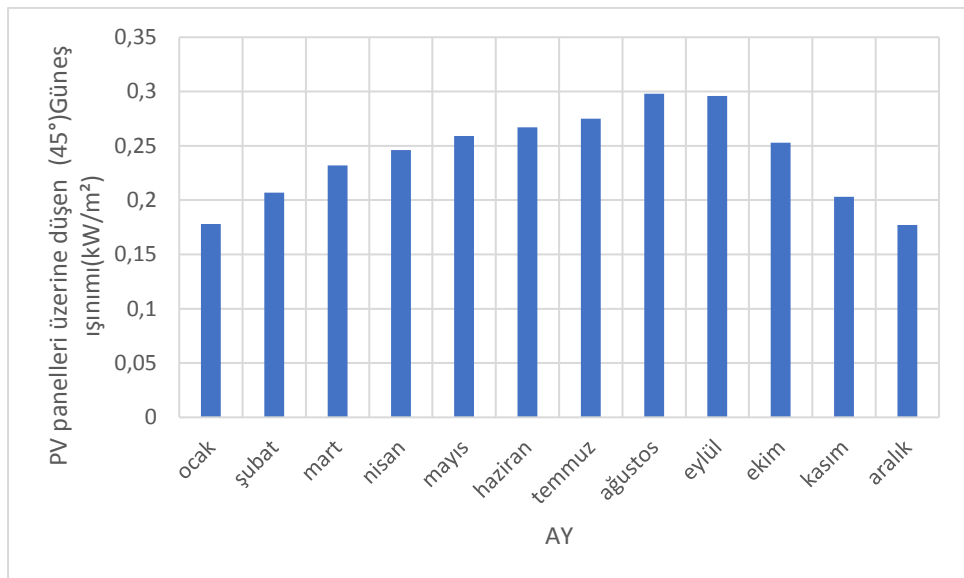
Şekil 5.30: Konya ili bulutluluk oranı

Konya ili '37:48' enlem ve '32:48' boylamlarında yer almaktadır. Bu coğrafik bölgenin yatay yüzeyine düşen aylık ve yıllık ışınım değerleri Şekil 5.31'de gösterilmiştir. (Url-16, 2019)



Şekil 5.31: Konya ili yataya düşen aylık ve yıllık ışınım değerleri

Ekserji analizlerinde PV panelleri üzerine gelen güneş ışınımı değeri kullanılmaktadır. Bu değer için yataya düşen güneş ışınımı değerini ve Denklem (3.18)'yi kullanılarak Şekil 5.32'deki gibi PV panelleri üzerine düşen aylık ve yıllık toplam güneş ışınımı miktarı elde edilir.



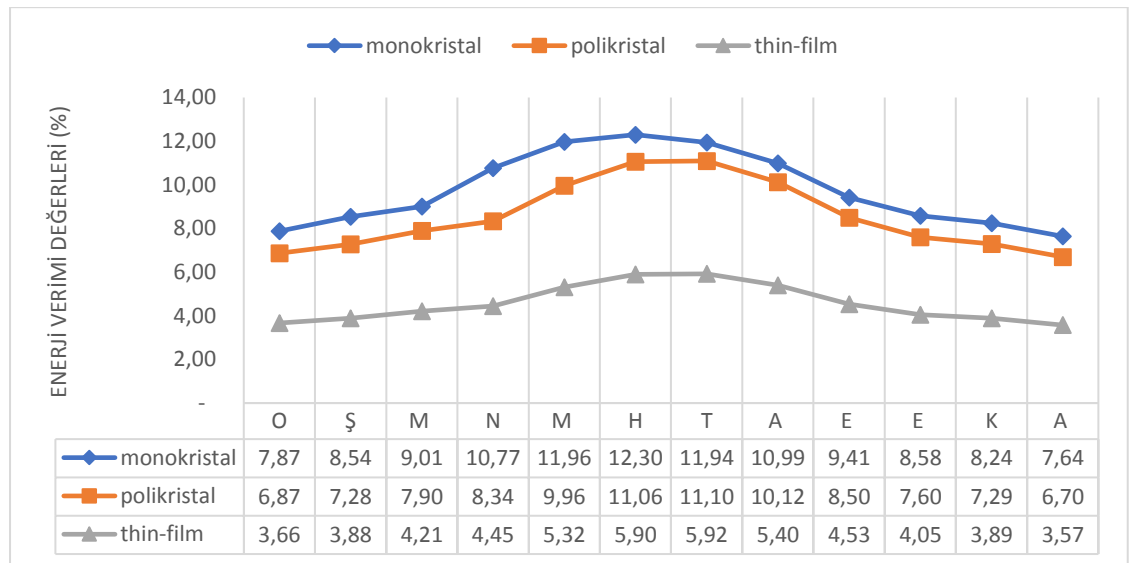
Şekil 5.32: Konya ili PV panelleri üzerine düşen ışınım miktarları

5.6 Enerji ve Ekserji Analizleri Sonuçları

Bu bölümde öncelikle önceki bölümde verilen birincil ve ikincil monokristal, polikristal ve ince-film güneş panellerinin enerji ve ekserji analizi yapılacak ve karşılaştırma işlemi yapılacaktır. Ardından Konya ve Erzurum illerinde önceki bölümde verilen birincil monokristal, polikristal ve ince-film güneş panelleri ile enerji ve ekserji analizleri yapılacaktır. Son işlem olarak daha önce yapılmış olan Denizli ilinde birincil güneş panelleri enerji ve ekserji analizi ile beraber birincil güneş panelleri arasında karşılaştırma işlemi yapılacaktır.

5.6.1 Denizli Birinci Grup Güneş Panelleriyle Enerji ve Ekserji Analizi

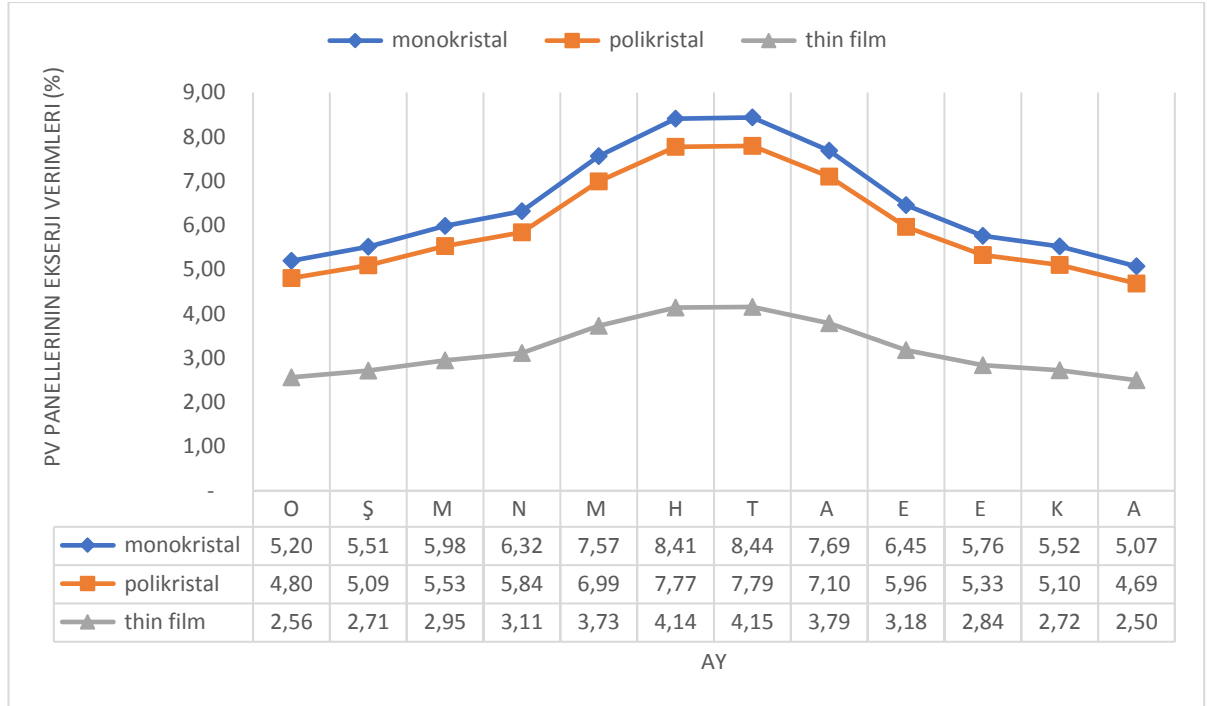
Denizli ilinin ait olduğu özellikler ve Denklem (3.15)'i kullanılarak güneş panelleri olarak '5.2.1', '5.2.2' ve '5.2.3' bölümlerinde verilen üç farklı güneş panelleri için enerji verimi hesaplamaları Şekil 5.33'de gösterilmiştir.



Şekil 5.33: Denizli'de birinci grup güneş panelleri ile enerji değerleri

Denizli ili birinci grup güneş panelleri için enerji verimlerinin yaz aylarında arttığı en yüksek enerji veriminin monokristal güneş panelinde hesaplandığı ortaya çıkmıştır. Bu değer Haziran ilinde meydana gelmiş olup %12,30 değeridir. Enerji veriminin en düşük olduğu değer ise %3,57 değeridir ve Aralık ayında hesaplanmıştır.

Denizli ilinin ait olduğu özellikler ve Denklem (3.14)'i kullanılarak güneş panelleri olarak '5.2.1', '5.2.2' ve '5.2.3' bölümlerinde verilen üç farklı güneş panelleri için ekserji verimi hesaplamaları Şekil 5.34'de gösterilmiştir.

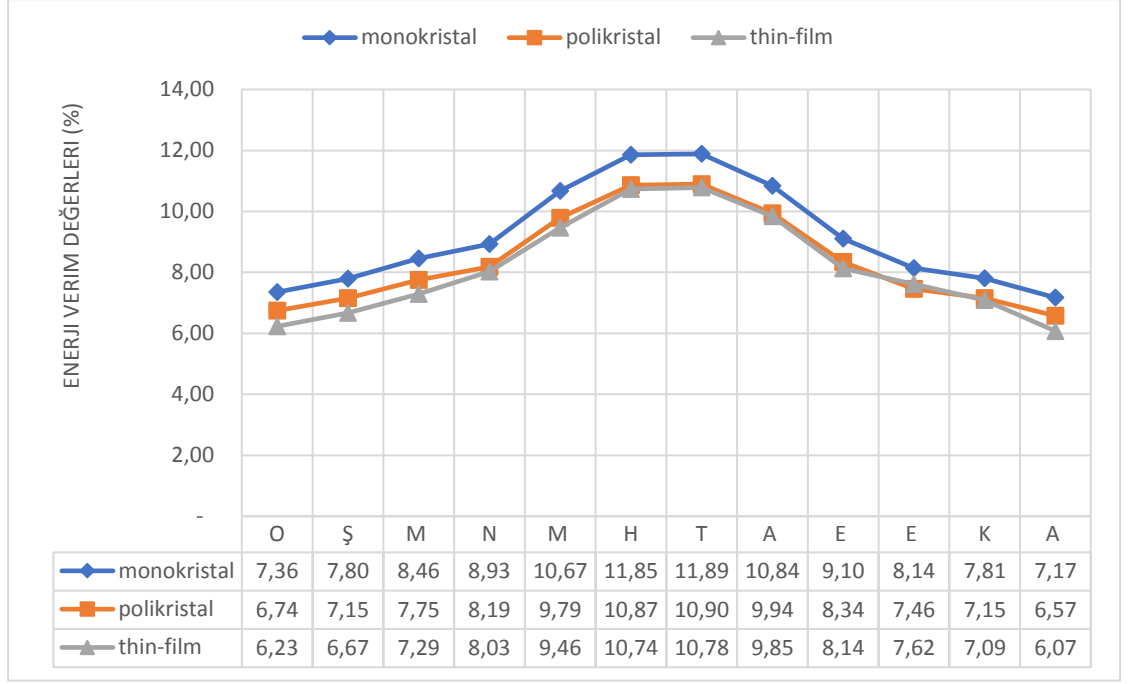


Şekil 5.34: Denizli'de birinci grup güneş panelleri ile ekserji değerleri

Denizli ili birinci grup güneş panelleri için ekserji verimlerinin yaz aylarında arttığı en yüksek ekserji veriminin monokristal güneş panelinde hesaplandığı ortaya çıkmıştır. Bu değer Haziran ayı için %8,41 değeri olmuştur. Ekserji analizi veriminin en düşük olduğu değer Aralık ayları olmuştur ve en düşük değer ince-film güneş panellerinde hesaplanmış %2,50 olarak hesaplanmıştır.

5.6.2 Denizli İkinci Grup Güneş Panelleri ile Enerji ve Ekserji Analizi

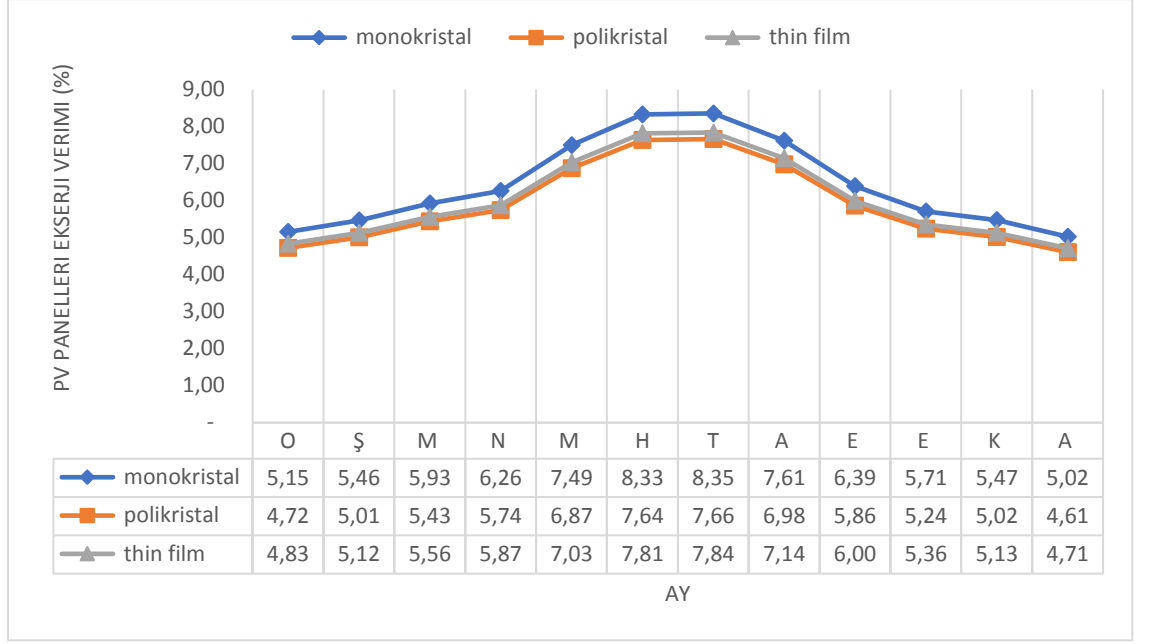
Denizli ilinin ait olduğu özellikler ve Denklem (3.15)'i kullanılarak güneş panelleri olarak '5.2.4', '5.2.5' ve '5.2.6' bölümlerinde verilen üç farklı güneş panelleri için enerji verimi hesaplamaları Şekil 5.35'de gösterilmiştir.



Şekil 5.35: Denizli’de ikinci grup güneş panelleri ile enerji değerleri

Denizli’de ikinci grup güneş panelleriyle yapılan enerji analizinde ek yüksek değerler Haziran ve Temmuz aylarında hesaplanmıştır. En yüksek değer monokristal güneş panelinde hesaplanmış olup değer Temmuz ayında ortaya çıkmıştır bu değer %11,89 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer ise Aralık ayında ince-film güneş paneli için hesaplanmış olup %6,07 olarak hesaplanmıştır.

Denizli ilinin ait olduğu özellikler ve Denklem (3.14)’i kullanılarak güneş panelleri olarak ‘5.2.4’, ‘5.2.5’ ve ‘5.2.6’ bölümlerinde verilen üç farklı güneş panelleri için ekserji verimi hesaplamaları Şekil 5.36’da gösterilmiştir.

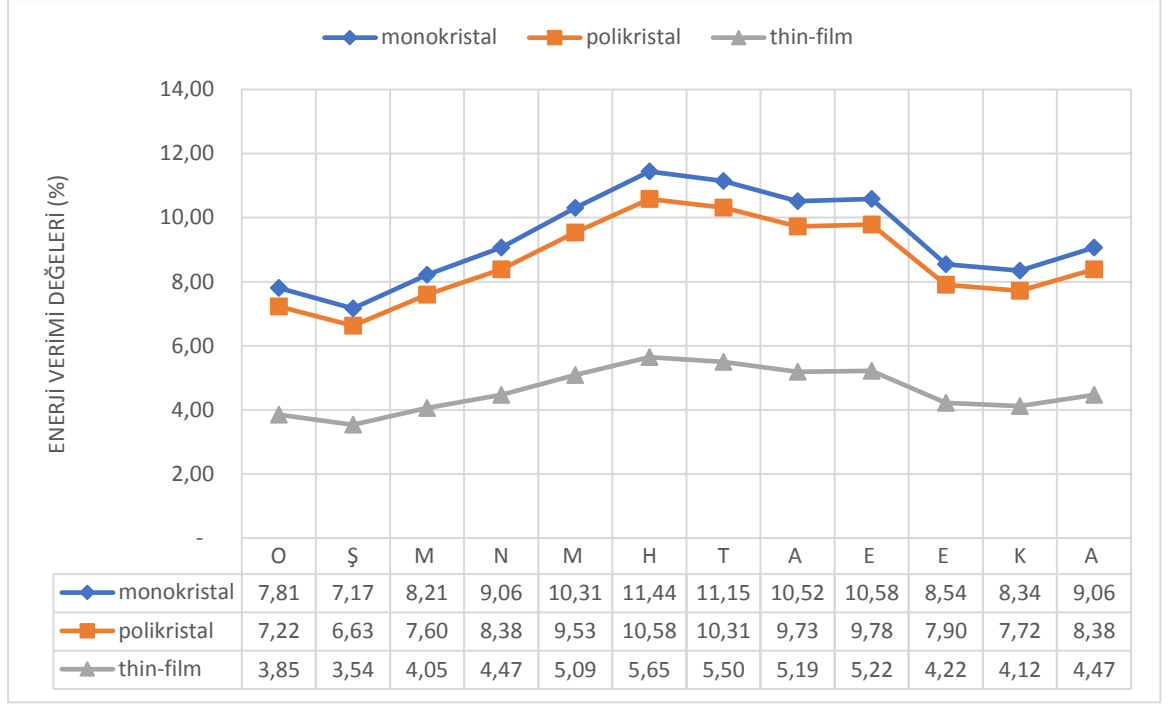


Şekil 5.36: Denizli’de ikinci grup güneş panelleri ile ekserji değerleri

Denizli’de ikinci grup güneş panelleriyle yapılan ekserji analizinde en yüksek değerler Haziran ve Temmuz aylarında hesaplanmıştır. En yüksek değer monokristal güneş panelinde hesaplanmış olup değer Temmuz ayında ortaya çıkmıştır bu değer %8,35 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer ise Aralık ayında ince-film güneş paneli için hesaplanmış olup %4,71 olarak hesaplanmıştır.

5.6.3 Erzurum İli Güneş Panelleri ile Enerji ve Ekserji Analizi

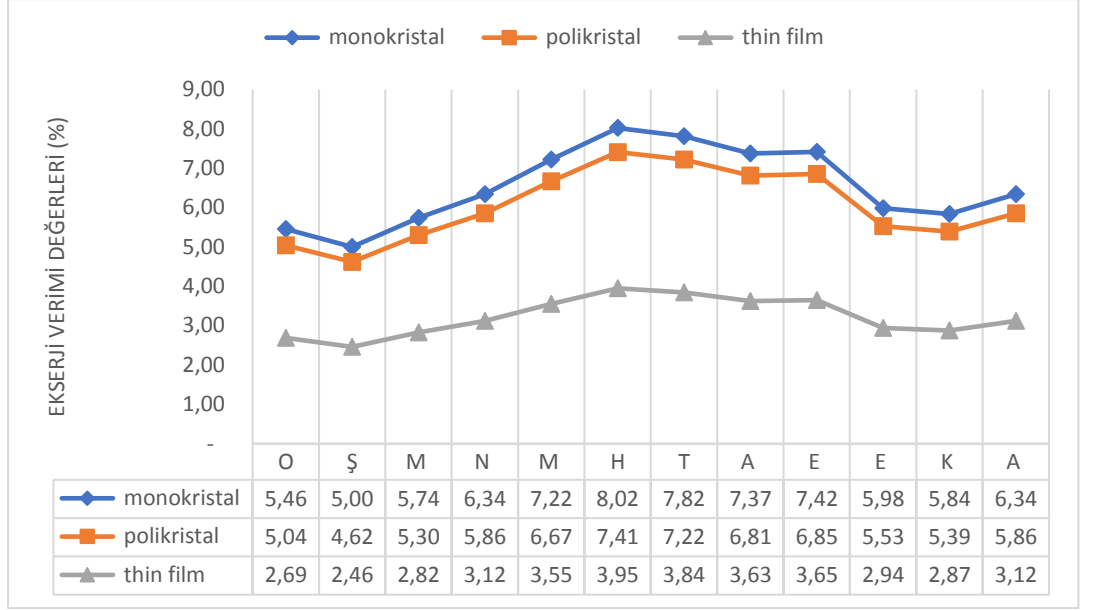
Erzurum ilinin ait olduğu özellikler ve Denklem (3.15)’i kullanılarak güneş panelleri olarak ‘5.2.1’, ‘5.2.2’ ve ‘5.2.3’ bölümlerinde verilen üç farklı güneş panelleri için enerji verimi hesaplamaları Şekil 5.37’de gösterilmiştir.



Şekil 5.37: Erzurum’da birinci grup güneş panelleri ile enerji değerleri

Erzurum’da birinci grup güneş panelleriyle yapılan enerji analizinde en yüksek değerler Haziran aylarında hesaplanmıştır. En yüksek değer monokristal güneş panelinde hesaplanmış olup değer Haziran ayında ortaya çıkmıştır bu değer %11,4 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer ise Şubat ayında ince-film güneş paneli için hesaplanmış olup %3,54 olarak hesaplanmıştır.

Erzurum ilinin ait olduğu özellikler ve Denklem (3.14)’i kullanılarak güneş panelleri olarak ‘5.2.1’, ‘5.2.2’ ve ‘5.2.3’ bölümlerinde verilen üç farklı güneş panelleri için ekserji verimi hesaplamaları Şekil 5.38’de gösterilmiştir.

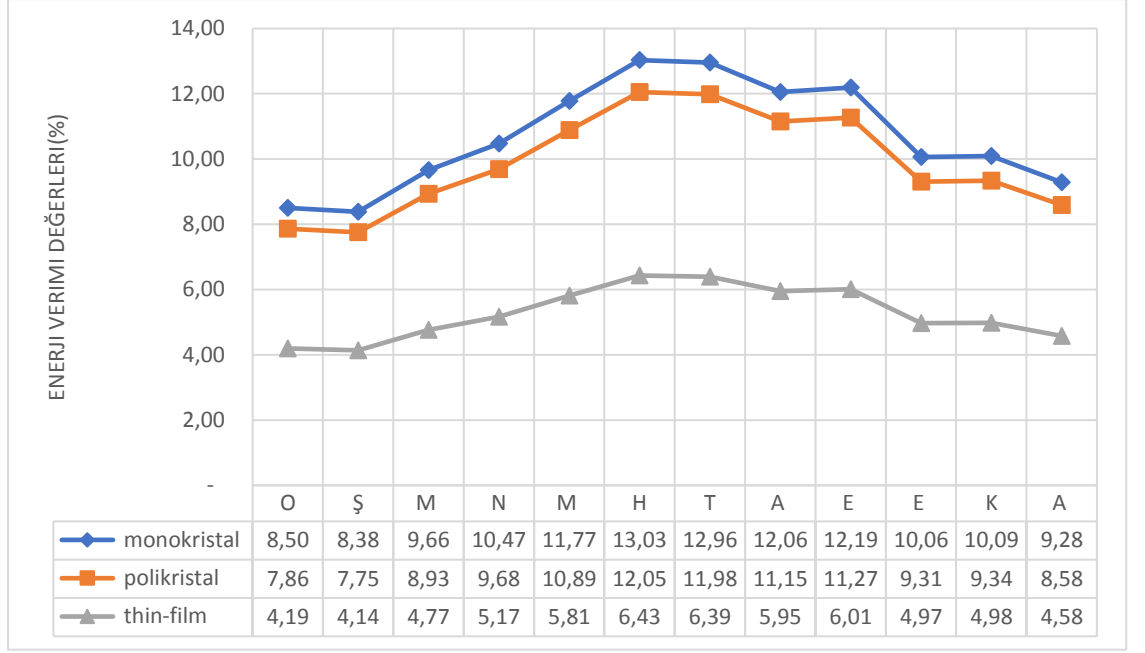


Şekil 5.38: Erzurum’da birinci grup güneş panelleri ile ekserji değerleri

Erzurum’da birinci grup güneş panelleriyle yapılan ekserji analizinde en yüksek değerler Haziran aylarında hesaplanmıştır. En yüksek değer monokristal güneş panelinde hesaplanmış olup değer Haziran ayında ortaya çıkmıştır bu değer %8,02 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer ise Şubat ayında ince-film güneş paneli için hesaplanmış olup %2,46 olarak hesaplanmıştır.

5.6.4 Konya İli Güneş Panelleri ile Enerji ve Ekserji Analizi

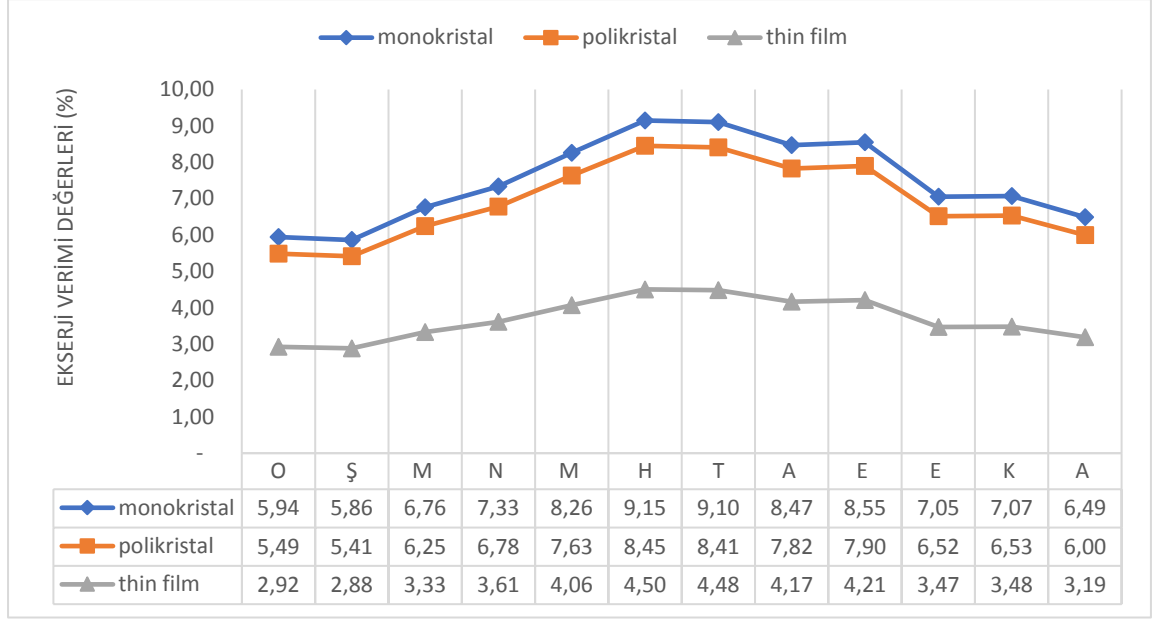
Konya ilinin ait olduğu özellikler ve Denklem (3.15)’i kullanılarak güneş panelleri olarak ‘5.2.1’, ‘5.2.2’ ve ‘5.2.3’ bölümlerinde verilen üç farklı güneş panelleri için enerji verimi hesaplamaları Şekil 5.39’da gösterilmiştir.



Şekil 5.39: Konya’da birinci grup güneş panelleri ile enerji değerleri

Konya’da birinci grup güneş panelleriyle yapılan enerji analizinde en yüksek değerler Haziran aylarında hesaplanmıştır. En yüksek değer monokristal güneş panelinde hesaplanmış olup değer Haziran ayında ortaya çıkmıştır bu değer %13,03 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer ise Şubat ayında ince-film güneş paneli için hesaplanmış olup %4,14 olarak hesaplanmıştır.

Konya ilinin ait olduğu özellikler ve Denklem (4.14)’i kullanılarak güneş panelleri olarak ‘5.2.1’, ‘5.2.2’ ve ‘5.2.3’ bölümlerinde verilen üç farklı güneş panelleri için ekserji verimi hesaplamaları Şekil 5.40’da gösterilmiştir.



Şekil 5.40: Konya’da birinci grup güneş panelleri ile ekserji değerleri

Konya’da birinci grup güneş panelleriyle yapılan ekserji analizinde en yüksek değerler Haziran aylarında hesaplanmıştır. En yüksek değer monokristal güneş panelinde hesaplanmış olup değer Haziran ayında ortaya çıkmıştır bu değer %9,15 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer ise Şubat ayında ince-film güneş paneli için hesaplanmış olup %2,88 olarak hesaplanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İlk olarak kristal silikon yapılı güneş panellerinin üretim aşamalarının ince-film güneş panelleri üretimine kıyasla daha fazla aşamadan geçtiği görülmüştür ve daha fazla aşama geçirmesiyle beraber üretim aşamasında daha fazla enerji ihtiyacı doğmuştur. Daha fazla enerji harcamak bir diğer manada doğaya daha fazla sera emisyonu yayılmasına anlamına gelmiştir.

Farklı PV sistemlerinde birincil enerji gereksinimi, enerji geri ödeme süresi ve sera gazı emisyon oranlarının bildirilen değerleri durumdan duruma farklılık gösterebilirler. Bunlara örnek sayacak olursak; güneş pili tipi, modül tipi, üretim süreçleri ve teknolojiler, üretim yöntemleri ve teknolojiler konumlar, hava koşulları, tahmin yöntemleri gibi üretim faktörlerinin değişmesi gibi faktörler örnek verilebilir. İnce film PV teknolojilerinden CIS ve CdTe neredeyse eşdeğer sonuçlar aldığı tahmin edilmiştir.

Genel olarak, mono-Si PV sistemleri en yüksek yaşam döngüsü enerji gereksinimine sahipken, ince film PV sistemleri (özellikle CdTe ve a-Si sistemleri) en düşük enerji talebine sahip olduğu tahmin edilmiştir. Enerji geri ödeme süresi için CdTe PV sistemi, düşük enerji talebi ve nispeten yüksek dönüşüm verimliliği nedeniyle en kısa enerji geri ödeme süresi sahip olduğu tahmin edilmiştir. Bu arada, a-Si PV sisteminin enerji ihtiyacı daha düşük olmasına rağmen, yüksek enerji geri ödeme süresi çok düşük dönüşüm verimliliğine bağlanabilir. Sera gazı emisyonu oranı açısından, mono-Si, güneş pilleri üretim süreçlerinin yüksek enerji yoğunluğundan dolayı, yaşam döngüsü boyunca daha fazla sera gazı emisyonu üretecek olduğu açıkça görülmektedir.

Kısacası, PV teknolojilerinin ölçülen EPBT ve sera gazı emisyon oranı konusunda sürdürülebilir ve çevre dostu olduğu kanıtlanmıştır. CdTe ince film PV teknolojileri, yaygın olarak kullanılan güneş pilleri türleri arasında, düşük yaşam çevrimi enerji talebi ve nispeten daha yüksek dönüşüm verimliliği nedeniyle enerji geri ödeme süresinin en kısa ve en düşük sera gazı emisyon oranı gibi en iyi çevresel faydaları sağlar.

Silikon bazlı PV sistemleri, enerji ve ekserji verimliliği açısından ince film güneş panellerinden daha üstün olmalarına rağmen yaşam döngüsü boyunca enerji ve çevresel etkilerini göz önünde bulundurarak en kötü çevresel faydaları sağlar. Özellikle mono-Si güneş pilleri üretim süreçlerinin yüksek enerji yoğunluğundan kötü sonuçlar elde etmiştir. İlerleyen zamanlarda birçok faktör, yaşam döngüsü enerji gereksinimi, enerji geri ödeme süresi ve PV sistemlerinin sera gazı emisyon oranının sonuçlarını etkileyecektir. Bunlardan bazıları; ileri üretim süreçleri, silikon ve diğer hammadde tüketimini azaltmak, malzeme geri dönüşüm oranlarını artırmak ve binaya entegre PV teknolojileri, PV-termal teknolojileri gibi yeni üretim teknolojileri olacaktır ve teknolojiler ile tahmin değerlerini daha da düşecek ve yakın gelecekte PV sistemlerinin çevresel performansını iyileştirecektir.

Yapılan enerji ve ekserji analizinde ise illerin kendi özelinde bir analiz inceleme yöntemi yapacak olursak Denizli ili birinci grup güneş panelleriyle yapılan analiz için enerji ve ekserji verimlerinin yaz aylarında arttığı en yüksek enerji verimin haziran ayında olduğu gözlemlenmiştir. Denizli ili ikinci grup güneş panelleriyle yapılan analiz için ise Denizli ili birinci grup güneş panelleri verileri gibi değişiklikler gözlemlenmiştir enerji ve ekserji verimlerinde yaz aylarında artış meydana gelmiştir. Denizli ili birinci ve ikinci grup güneş panelleri analizler arasında bir inceleme yapacak olursak monokristal ve polikristal güneş panellerinin enerji ve ekserji verimliliklerinde kayda değer bir fark meydana gelmemiştir birbirine çok yakın oranlardır. Fakat seçilen ince-film güneş panelleri arasında nesil farkı olduğu için ince-film güneş panellerinden daha fazla verim alınmıştır.

Erzurum ili özelinde bakıldığında ise enerji ve ekserji verimi yükselişler ve alçalışlar ile değişik sonuçlar elde etmiş olmasına rağmen enerji ve ekserji verimleri aynı doğrultuda olmuştur. Şubat ayından haziran ayına gittikçe doğrusal olarak verim artmış olup haziran ayında en iyi verim alınmıştır. Fakat yaz ayı içerisinde temmuz ayında ve sonrasında verim azalmıştır kış aylarında ise aralık ayının daha verimli geçtiği gözlemlenmiştir.

Konya ili özelinde ise Erzurum ili gibi enerji ve ekserji analizine paralel sonuçlar meydana gelmiştir. En yüksek verim haziran ayından meydana gelmiş olup kış aylarında ise en yüksek verim kasım ayında meydana gelmiştir.

Denizli birinci grup güneş panelleri ile kurulan sistem, Konya ve Erzurum illeri aynı güneş panelleri ile enerji ve ekserji analizleri yapıldığı için birbirileri arasında kıyas yapmak mümkündür. Bu üç farklı ortam şartlarına bağlı olarak aylara göre değişiklikler meydana gelmiştir. Genel olarak aynı güneş panellerinde enerji ve ekserji verim değerleri birbirlerine yakın olmuştur. En yüksek ve en düşük enerji ve ekserji verimleri farklı aylarda olabilmesine rağmen verim değerlikleri birbirine yakın olmuştur alınan en yüksek enerji verimleri kıyaslandığında 3 farklı panel türü içinde Konya ili ilk sırada yer almıştır. En düşük enerji verimleri kıyaslandığında ise monokristal panelde Denizli ili olurken polikristal ve ince-film güneş panellerinde Erzurum ili ilk sırada yer almıştır. Alınan en yüksek ekserji verimleri kıyaslandığında üç farklı panel türü içinde Konya ili ilk sırada yer almıştır. En düşük ekserji verimleri de birbirlerine yakın olmasına rağmen en düşük verimler Erzurum ilinde meydana gelmiştir. Bu değerlerde illere alınan güneş ışınımları büyük rol oynamıştır.

Genel verim açısından monokristal güneş panelleri ardından polikristal güneş panelleri ve en son ince film (Thin-film) güneş panelleri sıralanmıştır. Elde edilen enerji ve ekserji verimlilik oranlarını iç ve dış ortam şartları büyük ölçüde etkilemektedir. Panellerin bulunduğu coğrafi konumun yıllık ve aylık bulutluluk oranı ve rüzgâr hızları verimi etkilemektedir. Elektrik gücünü etkileyen etmenler işe panelin kablolanması ve üzerindeki kir oranıdır. Düşük rüzgâr hızlarında PV panellerden çevreye gerçekleşen ısı transferi az değerlerde olmaktadır. Aşırı güneş ışınımlarının meydana geldiği sistemlerde güneş panellerinin voltaj ve akım değerlikleri büyük önem taşımaktadır. Voltaj ve akımın düşük olduğu sistemlerde ışınım yüksek olmasına karşın verimde düşümler meydana gelebilmektedir.

7. KAYNAKLAR

Sumper, A., Robledo-García, M., Villafáfila-Robles, R., Bergas-Jané, J., & Andrés-Peiró, J., “Life-cycle assessment of a photovoltaic system in Catalonia (Spain)”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3888-3896, (2011).

Ito, M, “Life Cycle Assessment of PV Systems”, *Tokyo Institute of Technology*,15-19, (2011).

Peng, J., Lu, L., & Yang, H., “Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,19, (255-274), (2013).

Fthenakis, V. M., & Kim, H. C., “Photovoltaics: Life-cycle analyses”. *Solar Energy*, 85(8), (2011).

Pacca, S., Sivaraman, D., & Keoleian, G. A., “Parameters affecting the life cycle performance of PV technologies and systems”, *Energy Policy*, 35(6), 3316-3326, (2007).

Perez, M. J. R., Fthenakis, V., Kim, H.-C., & Pereira, A. O., “Façade-integrated photovoltaics: a life cycle and performance assessment case study”. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 20(8), 975-990, (2012).

Perpiñan, O., Lorenzo, E., Castro, M. A., & Eyras, R., “Energy payback time of grid connected PV systems: Comparison between tracking and fixed systems”, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 17(2), 137-147, (2009).

Sherwani, A. F., Usmani, J. A., & Varun., “Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 540-544, (2010).

Stoppato, A., “Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation”, *Energy*, 33(2), 224-232, (2008).

Zhang, T., Wang, M., & Yang, H. (2018). “A Review of the Energy Performance and Life-Cycle Assessment of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV)” Systems. *Energies*, 11(11), 3157, (2018).

Joshi, A. S., Dincer, I., & Reddy, B. V., “Analysis of energy and exergy efficiencies for hybrid PV/T systems”, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 6(1), 64-69., (2011).

Akyuz, E., Coskun, C., Oktay, Z., & Dincer, I. “A novel approach for estimation of photovoltaic exergy efficiency”, *Energy*, 44(1), 1059-1066, (2012).

Joshi, A. S., Dincer, I., & Reddy, B. V. “Thermodynamic assessment of photovoltaic systems”, *Solar Energy*, 83(8), 1139-1149. (2009).

Park, S. R., Pandey, A. K., Tyagi, V. V., & Tyagi, S. K. “Energy and exergy analysis of typical renewable energy systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 105-123,(2014).

Pathak, M. J. M., Sanders, P. G., & Pearce, J. M. “Optimizing limited solar roof access by exergy analysis of solar thermal, photovoltaic, and hybrid photovoltaic thermal systems” *Applied Energy*, 120, 115-124, (2014).

Saloux, E., Teyssedou, A., & Sorin, M. “Analysis of photovoltaic (PV) and photovoltaic/thermal (PV/T) systems using the exergy method” *Energy and Buildings*, 67, 275-285, (2013).

Sudhakar, K., & Srivastava, T. “Energy and exergy analysis of 36 W solar photovoltaic module”, *International Journal of Ambient Energy*, 35(1), 51-57, (2014).

Gün, A. R., & Kurban, M., “Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 1-6, (2011).

Dinçer, İ ve Rosen, M.A, *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*, Elsevier, (2007).

Yılancı, A., “Güneş-Hidrojenli Bir Sistemin Kurulması ve Performansının Analizi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD*, Denizli, (2008).

Ulu, E, “Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi'nin Deneysel ve Teorik Enerji, Ekserji ve Elektromanyetik Analizi” ,Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD*, Denizli, (2010).

Tezcan,C.S., “Yaşam Döngüsü Analizinin Süt Sığırısı Yetiştiriciliğinde Kullanım Olanakları ve Bir Uygulama Örneği”, Yüksek Lisans Tezi,*Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği ABD*, Bursa,(2015).

Polat,M.Ö. “Bitümlü Sıcak Karışımların Çevresel Yaşam Döngüsü Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı* , Gebze,(2013).

Çil,S. “Yalova Kentsel Katı Atık Yönetimi Alternatiflerinin Çevresel Yaşam Döngüsü Analizi ile İncelenmesi” *Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD* Gebze, (2013).

Üstün,S. “Plastik Ürün Endüstrisinin Yaşam Döngüsü Analizi Yöntemi İle Değerlendirilmesi”,*Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD*, Samsun(2013).

Zerdalı,N., “Lastiklerde Yaşam Döngüsü Analizi” ‘Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*,(2016).

Morsali,S. “Bitüm Kaplamalı Karayollarının Çevresel Etkinliklerinin Yaşam Döngüsü Analizi ile Belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ABD* Ankara,(2017).

Aktaş, K., “Kentsel Organik Atık Bertaraf Yöntemlerinin Yaşam Döngüsü Analizi İle İncelenmesi: Antalya Örneği” ‘Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri, Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Antalya, (2015).

Irbaş, E., “Kayseri İli Evsel Katı Atık Yönetimi İçin Yaşam Döngüsü Analizi” ‘Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri*, (2018).

Girgin,M.H., “Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW’lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirilmesi Ve Ekonomik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi , *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı* , İstanbul,(2010).

Yelmen.,B., “Polietilen Yüksek Tünel Sera Tipi Kurutucuda Baharatlık Kırmızıbiberin Kurutulması”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı*, Adana,(2010).

Jungbluth, N., Stucki, M., Flury, K., Frischknecht, R., & Büsler, S., Life Cycle Inventories of Photovoltaics, *İsveçre, Esu-sevices*,35-95, (2012).

Cezim,c., “Elektrik Mühendisleri Odası Eğitim Ve Seminer Etkinlikleri”, *Fotovoltaik Sistemler Ve Uygulamaları* ,(2013).

Duffie J.A., and Beckman W.A., *Solar Energy Thermal Processes*, third edition, Kanada: Wiley, (2006).

de Wild-Scholten, M.Life Cycle Assessment of Photovoltaics Status 2011, Part 1 Data collection, groet, NL,(2014).

Url-1: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>

Url-2: https://eusolar.ege.edu.tr/tr-3341/gunes_mimarisi.html

Url-3: www.solar-academy.com%2Fmenuis%2FFotovoltaik-Sistemler-ve-Uygulamalari.122101.pdf&usg=AOvVaw2LAp4omtW-flIiBiw9GjIG

Url-4: <http://www.gunessistemleri.com/uretimsureci.php>

Url-5: <http://www.gunessistemleri.com/guneshucreleri.php>

Url-6: <https://cleantechnica.com/2017/11/30/gtm-research-identifies-next-gigawatt-scale-solar-markets/>

Url-7: <http://www.guven-enerji.com/gunes-haritalari>

- Url-8: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>
- Url-9: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>
- Url-10: <https://yesilekonomi.com/kurulu-guc-87-gwi-asti/>
- Url-11: <https://yesilekonomi.com/turkiye-guneste-5-gwi-asti/>
- Url-12: <http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/son-dakika-cumhurbaskani-erdogan-ikinci-100-gunluk-eylem-planini-acikliyor-41050846>
- Url-13: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- Url-14: <http://www.mahmutselekoglu.com.tr/gunes-enerjisinden-elektrik-uretimine-genel-bir-bakis-ve-bir-uyg.html>
- Url-15: <https://cleantechnica.com/2011/07/27/first-solar-sets-thin-film-cd-te-solar-cell-efficiency-world-record/>
- Url-16: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Url-17: <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/life-cycle-assessment-and-photovoltaic-pv-recycling-designing-a-more-sustainable-energy-system.htm>
- Url-18: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>

EKLER

8. EKLER

EK A.1: SHARP Marka “300 Wp / Mono: NURC300”

Elektriksel veriler (STC)		NU-RC300	
Azami güç	P_{max}	300	W_p
Açık devre gerilimi	V_{oc}	39,4	V
Kısa devre akımı	I_{sc}	9,97	A
Azami güç noktasındaki gerilim	V_{mpp}	31,2	V
Azami güç noktasındaki akım	I_{mpp}	9,63	A
Modül verimliliği	η_m	18,3	%

STC = Standart Test Koşulları: İradyans 1.000W/m², AM 1,5, hücre sıcaklığı 25°C.
Anma elektrik özellikleri belirtilen V_{oc} 'nin $\pm 0,10$ ' u dahilinde ve P_{max} 'in $\pm 0,10$ ila $\pm 0,15$ aralığındadır (güç ölçüm toleransı $\pm 0,3$).
1.000W/m² ile 200W/m² iradyansın verim azalması (Tmodule = 25°C) %2' den azdır.

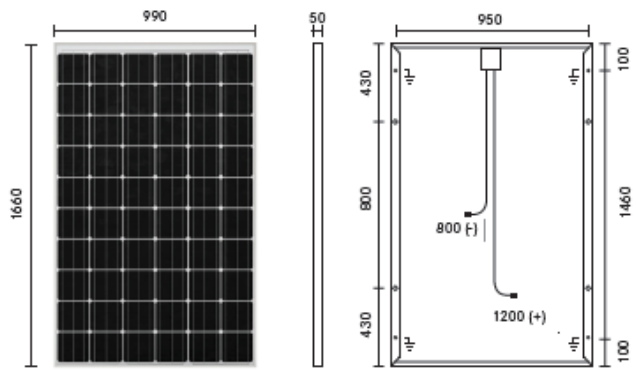
Elektriksel veriler (NOCT)		NU-RC300	
Azami güç	P_{max}	220	W_p
Açık devre gerilimi	V_{oc}	36,3	V
Kısa devre akımı	I_{sc}	8,07	A
Azami güç noktasındaki gerilim	V_{mpp}	28,5	V
Azami güç noktasındaki akım	I_{mpp}	7,72	A
Modül verimliliği	η_m	16,7	%

Elektriksel değerler hücrelerin nominal çalışma koşullarında ölçülmüştür: 800W/m² iradyans, 20°C hava sıcaklığı, 1 m/s rüzgar hızı. NOCT: 48°C (nominal çalışma hücre sıcaklığı).

Mekanik veriler	Boyutlar (mm)
Uzunluk	1.660 mm
Genişlik	990 mm
Derinlik	50 mm
Ağırlık	20 kg

Sıcaklık katsayısı	
P_{max}	-0,40 %/°C
V_{oc}	-0,29 %/°C
I_{sc}	0,05 %/°C

Sınır değerleri	
Azami sistem gerilimi	1.000 V
Aşırı akım koruması	20 A
Sıcaklık aralığı	-40 ila 85° C
Maks. mekanik yük (kar/rüzgar)	2.400 Pa
Test edilen kar yükü (IEC61215 testinden geçti*)	5.400 Pa



*Lütfen detaylar için Sharp kurulum kılavuzuna başvurun.

Genel veriler		Paketleme verileri	
Hücreler	tek kristalli, 156 mm x 156 mm, seri halinde 60 hücre	Palet başına düzen modül	22 adet
Ön cam	düşük demir temperlenmiş cam, 3,2 mm	Palet boyutu (U x G x Y)	1,2 m x 1,0 m x 1,85 m
Çerçeve	Anotlanmış alüminyum alaşımı, gümüş	Palet ağırlığı	yakl. 477 kg
Bağlantı kutusu	PPE/PPD reçine, IP67 Derecelendirilmesi, 148 x 123 x 27 mm, 3 baypas diodu	Bir kutu içinde ambalajlanan modül	22 adet
Kablo	CE kablosu, uzunluk 1.200 mm (+), 800 mm (-)		
Konektör	MC4		

Kendine güç ver

www.sharp.com.tr

SHARP

Sharp İletişim

SHARP ELECTRONICS GMBH
ENERGY SOLUTIONS
NAGELSWEG 33 - 35
20097 HAMBURG
GERMANY
T: +49 (0) 40 / 2376 - 2436
F: +49 (0) 40 / 2376 - 2193

Kurulumcu İletişim

Yerel sorumluluk: **Benlüks** SolarInfo.seb@sharp.eu, **Fransa** SolarInfo.fr@sharp.eu, **Almanya** SolarInfo.de@sharp.eu, **Polonya** energy-info.pl@sharp.eu, **İspanya ve Portekiz** SolarInfo.es@sharp.eu, **Birleşik Krallık** SolarInfo.uk@sharp.eu, **Diğer Ülkeler** SolarInfo.Europe@sharp.eu

NURC300_07/16TR

EK A.2: SHARP Marka “275 Wp / Poli: NDAK275”

Elektriksel veriler (STC)				
		ND-AK275	ND-AK270	
Azami güç	P_{max}	275	270	W_p
Açık devre gerilimi	V_{oc}	38,5	38,3	V
Kısa devre akımı	I_{sc}	9,38	9,29	A
Azami güç noktasındaki gerilim	V_{mpp}	31,4	31,2	V
Azami güç noktasındaki akım	I_{mpp}	8,76	8,65	A
Modül verimliliği	η_m	16,9	16,6	%

STC = Standart Test Koşulları: İndiyensi 1.000 W/m², AM 1,5, Hava sıcaklığı 25 °C.
Azami elektrik çabukluğu belirtilen V_{oc} 'nin $\pm 0,10$ 'u dahilinde ve I_{sc} 'nin $\pm 0,10$ ile ± 5 1 aralığındadır (güç düşüm toleransı $\pm 0,3$).
1.000 W/m² ile 200 W/m² indiyenstan verim azalması ($T_{modül} = 25$ °C) $0,3$ Wp'ten azdır.

Elektriksel veriler (NOCT)				
		ND-AK275	ND-AK270	
Azami güç	P_{max}	203,33	199,91	W_p
Açık devre gerilimi	V_{oc}	35,6	35,4	V
Kısa devre akımı	I_{sc}	7,58	7,51	A
Azami güç noktasındaki gerilim	V_{mpp}	28,8	28,6	V
Azami güç noktasındaki akım	I_{mpp}	7,06	6,99	A

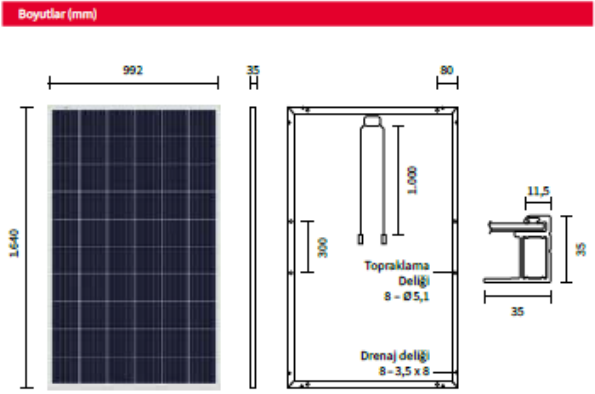
Elektriksel değerler hücrelerin nominal çalışma koşullarında ölçülmüştür: 800 W/m² indiyensi, 20 °C hava sıcaklığı, 1 m/s rüzgar hızı. NOCT = 45 °C (nominal çalışma sıcaklığı).

Mekanik veriler	
Uzunluk	1.640 mm
Geniçlik	992 mm
Derinlik	35 mm
Ağırlık	18,1 kg

Sıcaklık katsayısı	
P_{max}	-0,41 %/°C
V_{oc}	-0,32 %/°C
I_{sc}	0,055 %/°C

Sınır değerleri	
Azami sistem gerilimi	1.000 VDC
Açık akım koruması	15 A
Sıcaklık aralığı	-40 ila 85 °C
Maks. mekanik yük (kar/rüzgar)	2.400 Pa
Test edilen kar yükü (IEC61215 testinden geçti*)	5.400 Pa

Paketleme verileri	
Palet başına diğen modül	30 adet
Palet boyutu (U x G x Y)	1,685 m x 1,155 m x 1,123 m
Palet ağırlığı	yakl. 605 kg



*Lütfen detaylar için Sharp kurulum kılavuzuna başvurun.

Genel veriler	
Hücreler	çok kristalli Si, 156,75 mm x 156,75 mm, seri halinde 60 hücre
Ön cam	antirefleksif yüksek ağırlıklı şaşıp düşük alüminyum demirle temperlenmiş cam, 3,2 mm
Çerçeve	Anotlanmış alüminyum alaşımı, gümüş
Bağlantı kutusu	IP68 derecelendirmesi, 3 baypas diodu
Kablo	çap 4,0 mm ² , uzunluk 1.000 mm
Konektör	MC4 (Multi Contact, Stäubli Electrical Connectors AG)

NDAK275_093B_TR

Sharp İletişim
SHARP Electronics GmbH
Energy Solutions
Nagelweg 33 - 35
20097 Hamburg, Germany
T: +49 (0) 40 / 2376-2436
E: SolarInfo.Europe@sharp.eu

SHARP
Be Original.

Sharp.com.tr/energysolutions | #SharpBeOriginal

EK A.3: SHARP Marka “NA-F128 (G5)”

Mechanical data

Cell	Tandem cell of amorphous (a-Si) and microcrystalline (μ -Si) silicon
Bypass diodes	1
Dimensions	1,409 × 1,009 × 46 mm (1.42 m ²)
Weight	18 kg
Connector	SMK (MC4 compatible), Type CCT9901-2452F/CCT9901-2362F
To extend the module connection leads, only use SMK connector from the same series or MultiContactAG MC4 connector (PV-KST04/PV-K8T04)	

Limit values

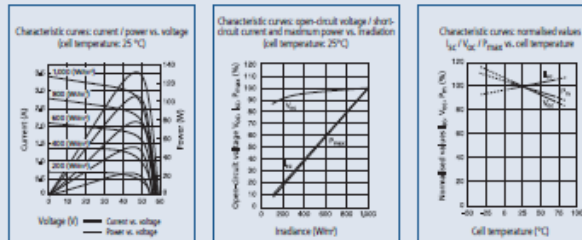
Storage air humidity (relative)	up to 90	%
Operating temperature (cell)	-40 to +90	°C
Storage temperature	-40 to +90	°C
Maximum system voltage	1,000	V DC
Maximum mechanical load	2,400	N/m ²
Over-current protection	5	A

Electrical data

		Initial values			Nominal values		
		NA-F135GK	NA-F128GK	NA-F121GK	NA-F135GK	NA-F128GK	NA-F121GK
Maximum power		158.9 W _p	150.6 W _p	142.4 W _p	135 W _p	128 W _p	121 W _p
Open-circuit voltage	V _{OC}	62.5	60.8	60.2	61.3	59.8	59.2
Short-circuit current	I _{SC}	3.49	3.54	3.43	3.41	3.45	3.34
Voltage at point of maximum power	V _{PM}	49.7	48.6	48.2	47.0	45.4	45.0
Current at point of maximum power	I _{PM}	3.20	3.10	2.96	2.88	2.82	2.69
Module efficiency	η_m				9.5	9.0	8.5
NOCT					44	44	44
Temperature coefficient – open-circuit voltage	αV_{OC}	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30
Temperature coefficient – short-circuit current	αI_{SC}	+0.07	+0.07	+0.07	+0.07	+0.07	+0.07
Temperature coefficient – power	αP_m	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24

The electrical data applies under standard test conditions (STC): irradiation 1,000 W/m² with light spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25 °C. The rated electrical characteristics are subject to a manufacturing tolerance of +10% / -5% (121, 128 W_p) and +5% / -5% (135 W_p). NOCT conditions: irradiation of 800 W/m², ambient temperature of 20 °C, and wind speed of 1 m/s.

Characteristic curves NA-F135GK

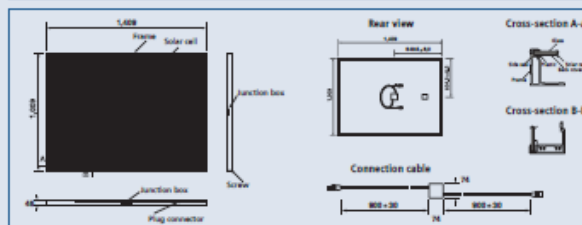


Applications

- On-grid PV systems
- On-roof PV systems
- Ground-mounted PV systems

Please read our detailed installation manual carefully before installing the photovoltaic modules. The instructions in the installation manual must always be observed (e.g. minus pole must be grounded, protection with blocking diodes/fuses).

Exterior dimensions



Note

Technical data is subject to change without prior notice. Before using Sharp products, please request the latest data sheets from Sharp. Sharp accepts no responsibility for damage to devices which have been equipped with Sharp products on the basis of unverified information.

The specifications may deviate slightly and are not guaranteed. Installation and operating instructions are to be found in the corresponding handbooks, or can be downloaded from www.sharp.eu.

This module should not be directly connected to a load.

Sharp Energy Solution Europe
a division of Sharp Electronics (Europe) GmbH
Sonninstrasse 3, 20097 Hamburg, Germany
Tel: +49 (0) 40 / 23 76 - 0 • Fax: +49 (0) 40 / 23 76 - 21 93
www.sharp.eu/solar

Local responsibility:

Austria
Solarinfo.at@sharp.eu
Benelux
Solarinfo seb@sharp.eu
Central & Eastern Europe
Solarinfo sce@sharp.eu

Denmark
Solarinfo.dk@sharp.eu
France
Solarinfo.fr@sharp.eu
Germany
Solarinfo.de@sharp.eu

Scandinavia
Solarinfo.se@sharp.eu
Spain & Portugal
Solarinfo.es@sharp.eu
Switzerland
Solarinfo.ch@sharp.eu
United Kingdom
Solarinfo.uk@sharp.eu

SHARP

EK B1: Parla ‘A-MO 300’ Monokristal Güneş Paneli



MONO KRİSTAL GÜNEŞ PANELİ

60

MEKANİK ÖZELLİKLER

Hücre Tipi	156x156 mm (6") veya 156,75*156,75mm (6.17")
Hücre Sayısı	60 (6x10)
Panel Boyutları	998x1662x35 mm (39,29" x 65,43" x 1,37")
Ağırlık	(18,5 +/-1) kg (40,8 lb)
Ön Cam	3,2 mm kalınlığında, yüksek iletim, temperli cam
Çerçeve	Anodize Alüminyum Alaşım
Bağlantı Kutusu	IP67 Koruma Sınıfı
Çıkış Kabloları	1000mm / 1200 mm, MC4 uyumlu

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER

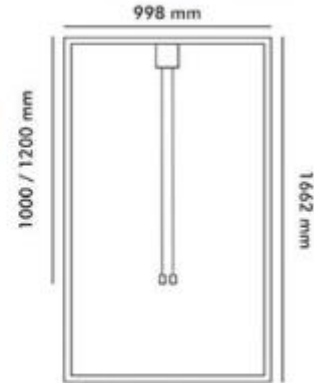
	A-MO280	A-MO285	A-MO290	A-MO295	A-MO300	A-MO305	A-MO310
Nominal Güç (Pmax)	280	285	290	296	300	305	310
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	32,15	32,60	32,72	33,01	33,26	33,68	33,93
Maksimum Güç Akımı (Imp)	8,71	8,85	8,87	8,96	9,03	9,09	9,15
Açık Devre Gerilimi (Voc)	37,33	37,96	38,08	38,55	38,85	39,26	39,56
Kısa Devre Akımı (Isc)	9,22	9,35	9,37	9,45	9,52	9,58	9,65
Modül Verimi	18,32%	18,65%	18,98%	19,35%	19,64%	19,96%	20,28%
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-40(°C) -- +85 (°C)						
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 VDC (IEC)						
Maksimum Seri Sigorta Değeri	15A						
Güç Toleransı	0 – +5W						
Pmax Sıcaklık Katsayısı	-0,39% (°C)						
Voc Sıcaklık Katsayısı	-0,31% (°C)						
Isc Sıcaklık Katsayısı	0,04% (°C)						

Standart test koşulları altında (STC): ışınım 1000W/ m2 , A.M 1,5, hücre sıcaklığı 25 °C

AMBALAJ ŞEKLİ

30 adet/palet
550 kg/palet
900 adet/ 40HQ Konteyner

BOYUT BİLGİLERİ



SERİFİKASYON



IEC 61215-1,-2

IEC 62804-1

IEC 61701

IEC 61730-1,-2

IEC 62716

EK B2: Parla ‘‘A-MU 275’’ Polikristal Güneş Paneli



MULTİ KRİSTAL GÜNEŞ PANELİ 60

MEKANİK ÖZELLİKLER

Hücre Tipi	156x156 mm (6") veya 156,75*156,75mm (6.17")
Hücre Sayısı	60 (6x10)
Panel Boyutları	998x1662x35 mm (39,29" x 65,43" x 1,37")
Ağırlık	(18,5 +/-1) kg (40,8 lb)
Ön Cam	3,2 mm kalınlık, Yüksek Geçirgenlik, Temperli, AR Kaplamalı
Çerçeve	Anodize Alüminyum Alaşım
Bağlantı Kutusu	IP67 Koruma Sınıfı
Çıkış Kabloları	1000mm / 1200 mm, MC4 uyumlu

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER

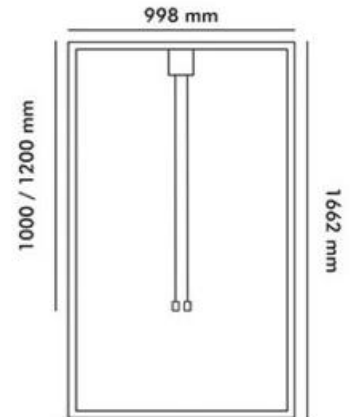
	A-MU250	A-MU255	A-MU260	A-MU265	A-MU270	A-MU275
Nominal Güç (Pmax)	250	255	260	265	270	275
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	31,07	31,42	31,66	31,96	32,25	32,55
Maksimum Güç Akımı (Imp)	8,06	8,15	8,21	8,32	8,38	8,46
Açık Devre Gerilimi (Voc)	36,49	36,78	37,06	37,36	37,55	38,00
Kısa Devre Akımı (Isc)	8,58	8,66	8,73	8,79	8,84	8,93
Modül Verimi	16,39%	16,68%	17,01%	17,34%	17,69%	18,03%
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-40(°C) ~ +85 (°C)					
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 VDC (IEC)					
Maksimum Seri Sigorta Değeri	15A					
Güç Toleransı	0 ~ +5W					
Pmax Sıcaklık Katsayısı	-0,37% (°C)					
Voc Sıcaklık Katsayısı	-0,32% (°C)					
Isc Sıcaklık Katsayısı	0,05% (°C)					

Standart test koşulları altında (STC): ışınım 1000W/ m2 , A.M 1,5, hücre sıcaklığı 25 °C

AMBALAJ ŞEKLİ

30 adet/palet
550 kg/palet
900 adet/ 40HQ Konteyner

BOYUT BİLGİLERİ



SERİFİKASYON



IEC 61215-1,-2

IEC 62804-1

IEC 61701

IEC 61730-1,-2

IEC 62716

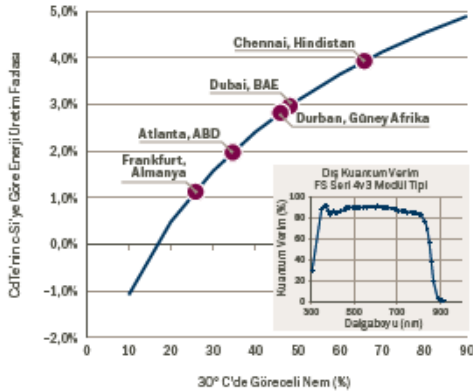
EK B3: First solar/FS 4122-3 İnce-Film Güneş Paneli

FİRS solar SERIES 4™ PV MODÜLÜ

MEKANİK AÇIKLAMA	
Uzunluk	1200mm
Geniçlik	600mm
Ağırlık	12kg
Kalınlık	6,8mm
Alan	0,72m ²
Bağlantı Kablosu	2,5mm 657mm (Konnektör boyu hariç kablo uzunluğu)
Konnektörler	MC4 veya MC4-EVO 2 [®]
Baypas Diyot	Yok
Hücre Türü	İnce Film CdTe yan iletken, 216 aktif hücre
Çerçeve Malzemesi	Yok
Ön Cam	3,2mm ısı işlemle sertleştirilmiş Series 4A™ yansımaya önleyici kaplama
Arka Cam	3,2mm temperli
Muhafaza	Lamine malzeme, kenar sızdırmazlığı
Yük Değeri	2400Pa ^{±10}

STANDART TEST ŞARTLARINDA MODÜL DEĞERLERİ (1000W/m ² , AM 1,5, 25°C) [®]		FS-4110-3	FS-4112-3	FS-4115-3	FS-4117-3	FS-4120-3	FS-4122-3
NOMİNAL DEĞERLER		FS-4110A-3	FS-4112A-3	FS-4115A-3	FS-4117A-3	FS-4120A-3	FS-4122A-3
Nominal Güç (-Q/+5W) [®]	P _{MPPT} (W)	110,0	112,5	115,0	117,5	120,0	122,5
Maksimum Güç Gerilimi	V _{MPP} (V)	67,8	68,5	69,3	70,1	70,8	71,5
Maksimum Güç Akımı	I _{MPP} (A)	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,71
Açık Devre Gerilimi	V _{OC} (V)	86,4	87,0	87,6	88,1	88,7	89,7
Kısa Devre Akımı	I _{SC} (A)	1,82	1,83	1,83	1,83	1,84	1,85
Modül Verimi		15,3	15,6	16,0	16,3	16,7	17,0
Maksimum Sistem Gerilimi	V _{SYS} (V)	1500 ^{TA}					
Ters Akım Sınırlaması	I _R (A)	4,0					
Maksimum Seri Sigorta	I _{CS} (A)	4,0					
45°C'LİK NOMİNAL ÇALIŞAN HÜCRE SICAKLIĞINDA DEĞERLER (800W/m ² , 20°C hava sıcaklığı, AM 1,5, 1m/s rüzgar hızı) [®]		FS-4110-3	FS-4112-3	FS-4115-3	FS-4117-3	FS-4120-3	FS-4122-3
Nominal Güç	P _{MPPT} (W)	83,2	85,1	87,0	89,0	90,8	92,7
Maksimum Güç Gerilimi	V _{MPP} (V)	63,5	64,5	64,9	65,9	66,3	67,2
Maksimum Güç Akımı	I _{MPP} (A)	1,31	1,32	1,34	1,35	1,37	1,38
Açık Devre Gerilimi	V _{OC} (V)	81,6	82,1	82,7	83,2	83,7	83,7
Kısa Devre Akımı	I _{SC} (A)	1,47	1,47	1,48	1,48	1,48	1,49
SICAKLIK ÖZELLİKLERİ							
Modül Çalışma Sıcaklık Aralığı (°C)		-40 ile +85 arası					
Sıcaklık Katsayısı P _{MPPT}	T _K (P _{MPPT})	0,28%/°C (Sıcaklık Aralığı: 25°C ile 75°C arası)					
Sıcaklık Katsayısı V _{OC}	T _K (V _{OC})	-0,28%/°C					
Sıcaklık Katsayısı I _{SC}	T _K (I _{SC})	+0,04%/°C					

ÜSTÜN SPEKTRAL TEPKİ



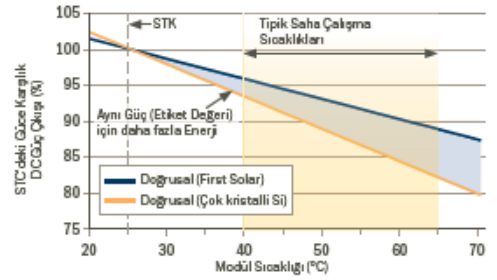
- 1 Modüller, Adas 25+ 1200 kriterlerine uygundur.
- 2 SunA Spread of Flame / SunA B Burning Brand, Çıpa mencaji yanmazlık testleri, çivi ve solar modülün bütün halinde değerlendirilerek gerçekleştirilmiştir.
- 3 Sıcak güc çivisi ve iletin garantilidir, garanti şartlarına tabidir.
- 4 İki yıl %98 nominal güç, 25 yıl boyunca yılda -%0,5.
- 5 Titrin denecek değildir, akış belirlemede ölçü sürece ± %3'dür. Ölçeklerde değişiklik yapılabilir.
- 6 Ölçüme değişiklikli değildir.
- 7 1500V için IUL 1703, 1000V için IULC 1703 standartları sağlanır.
- 8 1000V (Seri B) için Uygulama Sınıfı A, MC4 ile 1500V (Seri D) için Uygulama Sınıfı B, MC4-EVO 2 ile 1000V ve 1500V (Seri F) için Uygulama Sınıfı A.
- 9 Multi-Comax MC4 (PV-KS14/PV-KBT4), Multi-Comax MC4-EVO 2 (PV-KST-EVO 2 / PV-KBT-EVO 2).
- 10 Daha yüksek yük değerleri ek mencaj kılıpları veya daha geniş kılıplarla sağlanabilir. Tesisi tabidir.

Sorumluluk Ret Beyanı

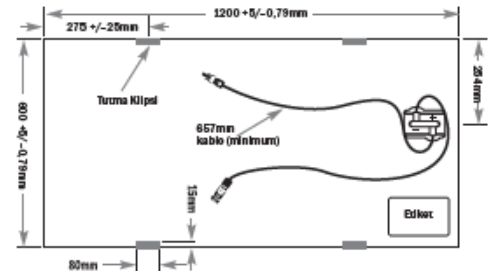
Bu Modülün Veri Sayfasındayken alan bilgiler önceden haber verilmeksizin değiştirilebilir ve sadece bilgilendirme amaçlıdır. Kullanıcının bu Modülün Veri Sayfasındayken alan bilgilere güvenmesi nedeniyle hiçbir akdi hak tesis edilmemektedir ve bu şekilde yorumlanmamaktadır. Modül performansı, kurulumu ve kullanımı ile ilgili daha ayrıntılı teknik bilgi için Modülün Kullanım Kılavuzuna ve Modül Ürün Özellikleri belgesine başvururun.

First Solar logosu, First Solar™ ve ® ile gösterilen tüm ürünler tescilli ticari markalardır ve ™ ile gösterilenler First Solar, Inc. ticari markalardır.

ÜSTÜN SICAKLIK KATSAYISI



MEKANİK ÇİZİM



9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan EKİNCİ

Doğum Yeri ve Tarihi : Adıyaman/28.04.1993

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : gokhanek@hotmail.com

İletişim Adresi : Mustafa Kemal Mah. Şehir pilot üsteğmen
Osman Onur Özkaya caddesi no:29/17 Karşıyaka/İzmir