

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÜYÜKÇEKMECE İLÇESİNDEKİ GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALİNİN TASARIMI VE EKONOMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Evren KOÇAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ekrem BÜYÜKKAYA

Temmuz 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜYÜKÇEKMECE İLÇESİNDEKİ GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALİNİN TASARIMI VE EKONOMİK ANALİZİ**

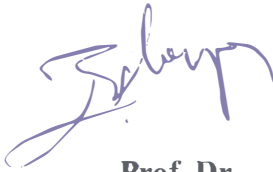
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Evren KOÇAK

Enstitü Anabilim Dalı

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 04.07.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



**Prof. Dr.
Ekrem BÜYÜKKAYA
Jüri Başkanı**



**Prof. Dr.
Hakan Serhad SOYHAN
Üye**



**Prof. Dr.
Ahmet ERDİL
Üye**

BEYAN

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

Mehmet Evren KOÇAK

04.07.2018

TEŞEKKÜR

Tez alıŐması boyunca öneri, destek ve eleŐtirilerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danıŐman hocam Prof. Dr. Ekrem BÜYÜKKAYA'ya teŐekkürlerimi sunarım.

İŐ hayatım sürerken yüksek lisans eğitimim için gerekli zamanı, imkânı ve desteği veren Büyükçekmece Belediye Başkanı Dr. Hasan AKGÜN'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım ve eğitimim boyunca benim yanımda olan, bana güvenen, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Nursen KOÇAK ve babam Yusuf KOÇAK'a çok teşekkür ederim.

YoĐun çalıŐmalarım süresince benden yardım ve desteğini esirgemeyen, sabır ve sevgi ile her konuda yanımda olan, değerli eŐim Zeynep KOÇAK'a her Őey için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Işınım Yolu İle Isı Transferi	1
1.2. Güneş Pilleri.....	3
1.3. Güneş Paneli Elektrik Üretimi.....	4
BÖLÜM 2.	
BÜYÜKÇEKMECE İLÇESİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ.....	5
2.1. Proje Hakkında.....	5
2.2. Santral Sahasının Özellikleri - Santral Bölgesinin Nitelikleri	6
2.3. Santral Sahasının Güneş Enerji Potansiyeli, Güneşlenme Süreleri ve Güneşlilik Verileri.....	9
2.3.1. Fotovoltaik coğrafi bilgi sistemleri veri tabanı (PVGIS).....	10
2.3.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası veri tabanı (GEPA).	11
2.3.3. Meteonorm veri tabanı.....	15
2.3.4. NASA veri tabanı.....	16
2.3.5. Veri tabanlarının karşılaştırılması.....	16
2.4. Kurulacak Tesisin Özellikleri.....	18

BÖLÜM 3.

ANALİZ PROGRAMI, PANEL VE EVİRİCİLER HAKKINDA.....	21
3.1. PV*SOL Analiz Programı Hakkında.....	21
3.2. PV*SOL'un Analiz Programının Özellikleri.....	21
3.3. Sistemlerde Kullanılan Güneş Panellerinin Özellikleri.....	22
3.3.1. Güneş panellerinin temel, elektriksel ve mekaniksel verileri....	22
3.3.2. Güneş panellerinin montaj detayları	23
3.3.3. Güneş panellerinin standart test koşullarındaki özellikleri.....	25
3.4. Sistemlerde Kullanılan Eviricilerin Özellikleri.....	27

BÖLÜM 4.

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI.....	29
4.1. Karşılaştırılan Sistemler.....	29
4.2. Güneş Panellerinin Tasarımı.....	29
4.2.1. Jinko Solar güneş paneli (A ve B grubu).....	30
4.2.2. Canadian Solar güneş paneli (C ve Ç grubu).....	30
4.2.3. Trina Solar güneş paneli (D ve E grubu).....	31
4.2.4. Yingli Solar güneş paneli (F ve G grubu).....	32
4.3 Eviricilerin Seçimi ve Detayları.....	33
4.3.1. A grubu evirici seçimi ve detayları.....	34
4.3.2. B grubu evirici seçimi ve detayları.....	35
4.3.3 C grubu evirici seçimi ve detayları.....	37
4.3.4. Ç grubu evirici seçimi ve detayları.....	38
4.3.5. D grubu evirici seçimi ve detayları.....	40
4.3.6. E grubu evirici seçimi ve detayları.....	41
4.3.7. F grubu evirici seçimi ve detayları.....	43
4.3.8. G grubu evirici seçimi ve detayları.....	44
4.4. Güneş Panellerinin Eğimi, Yönü ve Gölgeleme Analizi.....	46
4.5. Kablolama.....	47
4.6. Güneş Santrali Tasarım Görüntüleri.....	47

BÖLÜM 5.

SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ENERJİ ANALİZİ.....	55
5.1. Simülasyon Parametreleri (Kabuller).....	55
5.2. Sistem Enerji Bilançosu ve Simülasyon Sonuçları.....	59
5.2.1. A grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları.....	60
5.2.2. B grubu simülasyon sonuçları ve sistem enerji bilançosu.....	62
5.2.3. C grubu simülasyon sonuçları ve sistem enerji bilançosu.....	64
5.2.4. Ç grubu simülasyon sonuçları ve sistem enerji bilançosu.....	66
5.2.5. D grubu simülasyon sonuçları ve sistem enerji bilançosu.....	68
5.2.6. E grubu simülasyon sonuçları ve sistem enerji bilançosu.....	70
5.2.7. F grubu simülasyon sonuçları ve sistem enerji bilançosu.....	72
5.2.8. G grubu simülasyon sonuçları ve sistem enerji bilançosu.....	74
5.2.9. Enerji Üretim Değeri Karşılaştırmaları.....	76

BÖLÜM 6.

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ EKONOMİK ANALİZİ.....	80
6.1. Finansal Analizde Esas Alınan Kur.....	80
6.2. Proje Gelirleri.....	80
5.2.1. Elektrik ve karbon satış gelirleri.....	80
6.3. Yatırım Maliyeti.....	82
6.3.1. Mühendislik hizmetleri.....	82
6.3.2. Makine ve teçhizat.....	83
6.3.3. Sahanın hazırlanması, inşaat işleri ve arazi bedeli.....	86
6.3.4. Paratoner (Yıldırımdan Koruma) ve topraklama.....	87
6.3.5. Tel çit, CCTV ve saha aydınlatması.....	87
6.3.6. Kurulum, devreye alma, trafo ve enerji nakil hattı.....	88
6.3.7. Üretim lisans bedeli.....	89
6.3.8. Beklenmeyen ve yatırım dönemi genel giderler.....	89
6.3.9. Toplam yatırım bedeli.....	90
6.4. Proje Giderleri.....	93
6.4.1 Faaliyet giderleri.....	93
6.4.2. İletim sistemi kullanım ve işletim bedeli.....	95

6.5. Mali Tablolar.....	96
6.5.1. Geri ödeme süresi hesabı.....	97
6.5.2. İç karlılık oranı (İKO).....	97
6.5.3. Geri ödeme süresi hesabı ile ekonomik analiz.....	98
6.5.4. İç karlılık oranı (İKO) ile ekonomik analiz.....	107
6.6. Ekonomik Analiz Sonuçları.....	108
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	110
KAYNAKLAR.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	115

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yüzeyden yayılan ışın miktarı	1
Şekil 1.2. Gelen ışın miktarı	2
Şekil 1.3. Net ışıınım ısı transferi.....	3
Şekil 1.4. Güneş paneli elektrik üretimi prensibi	4
Şekil 2.1. Büyükçekmece Belediyesi elektrik tüketimi.....	6
Şekil 2.2. Büyükçekmece fiziki haritası.....	7
Şekil 2.3. Proje alanı koordinatları.....	7
Şekil 2.4. Proje alanı etapları.....	8
Şekil 2.5. İstanbul 1929-2016 yılları arası meteorolojik verileri.....	8
Şekil 2.6. İstanbul İli 50 m rüzgâr hızı ortalaması.....	9
Şekil 2.7. Türkiye güneşlilik haritası.....	10
Şekil 2.8. Büyükçekmece radyasyon haritası (GEPA).....	12
Şekil 2.9. Büyükçekmece ışıınım ve güneşlenme süreleri (GEPA).....	13
Şekil 2.10. Aylık global radyasyon değerlerinin karşılaştırılması.....	17
Şekil 2.11. Yıllık global radyasyon değerlerinin karşılaştırılması.....	17
Şekil 2.12. Beylikdüzü trafo merkezi.....	19
Şekil 2.13. İstanbul trafo merkezi ve bağlantı hatları.....	19
Şekil 3.1. Güneş paneli montaj detayları.....	23
Şekil 3.2. Verimlilik-ışıınım grafiği.....	27
Şekil 4.1. Eviricilerin yapılandırma seçimi ara yüzü.....	34
Şekil 4.2. Panel ve eviricilerin kablolama bağlantısı	47
Şekil 4.3. Santral sahası-1	48
Şekil 4.4. Santral sahası-2	48
Şekil 4.5. Santral sahası-3	48
Şekil 4.6. Santral sahası 1. etap	49

Şekil 4.7. Santral sahası 1. etap	49
Şekil 4.8. Santral sahası 1. etap	49
Şekil 4.9. Santral sahası 2. etap	50
Şekil 4.10. Santral sahası 2. etap	50
Şekil 4.11. Santral sahası 2. etap	50
Şekil 4.12. Santral sahası 3. etap	51
Şekil 4.13. Santral sahası 3. etap	51
Şekil 4.14. Santral sahası 3. etap	51
Şekil 4.15. Santral sahası 4. etap	52
Şekil 4.16. Santral sahası 4. etap	52
Şekil 4.17. Santral sahası 4. etap	52
Şekil 4.18. Santral sahası 5. etap	53
Şekil 4.19. Santral sahası 5. etap	53
Şekil 4.20. Santral sahası 5. etap	53
Şekil 4.21. Santral sahası-4	50
Şekil 4.22. Santral sahası-5	54
Şekil 5.1. Enerji bilançosu hesap çizelgesi	55
Şekil 5.2. Toplam enerji üretimi	76
Şekil 5.3. Grupların enerji değişimi	78
Şekil 6.1. Elektrik satış ücretleri.....	81
Şekil 6.2. Proje bedeli dağılımı.....	92
Şekil 6.3. İletim sistemi kullanım ve işletim bedeli.....	96
Şekil 6.4. Tüm grupların geri dönüşüm süreleri.....	107
Şekil 6.5. Grupların yıllara göre iç karlılık oranı değişimi.....	109
Şekil 7.1. Enerji ve ekonomik analiz karşılaştırılması.....	110

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Büyükçekmece aylık ve yıllık küresel ışınımı kWh/m ² (PVGIS).....	11
Tablo 2.2. Büyükçekmece global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün) (GEPA)....	13
Tablo 2.3. Büyükçekmece güneşlenme süresi (saat) (GEPA).....	14
Tablo 2.4. Büyükçekmece global radyasyon değerleri (kWh/m ² -ay) (GEPA).....	14
Tablo 2.5. Büyükçekmece global radyasyon değerleri (kWh/m ² -ay) (Meteonorm)	15
Tablo 2.6. Büyükçekmece global radyasyon değerleri (kWh/m ² -ay) (NASA).....	16
Tablo 2.7. Büyükçekmece için 4 farklı veri tabanının global radyasyon değerleri karşılaştırması.....	16
Tablo 3.1. Güneş panellerinin temel, elektriksel ve mekaniksel verileri.....	23
Tablo 3.2. Güneş paneli montaj değerleri.....	24
Tablo 3.3. Standart test koşullarında akım ve gerilim özellikleri.....	25
Tablo 4.1. Tüm grup ve etapların gölgelendirme zararı.....	46
Tablo 4.2. Kablo kesitleri.....	47
Tablo 5.1. A grubu enerji bilançosu.....	60
Tablo 5.2. A grubu simülasyon sonuçları.....	61
Tablo 5.3. B grubu enerji bilançosu	62
Tablo 5.4. B grubu simülasyon sonuçları	63
Tablo 5.5. C grubu enerji bilançosu	64
Tablo 5.6. C grubu simülasyon sonuçları	65
Tablo 5.7. Ç grubu enerji bilançosu	66
Tablo 5.8. Ç grubu simülasyon sonuçları	67
Tablo 5.9. D grubu enerji bilançosu	68

Tablo 5.10. D grubu simülasyon sonuçları	69
Tablo 5.11. E grubu enerji bilançosu	70
Tablo 5.12. E grubu simülasyon sonuçları	71
Tablo 5.13. F grubu enerji bilançosu	72
Tablo 5.14. F grubu simülasyon sonuçları	73
Tablo 5.15. G grubu enerji bilançosu	74
Tablo 5.16. G grubu simülasyon sonuçları	75
Tablo 5.17. Toplam enerji üretimi.....	76
Tablo 6.1. Güneş panel maliyeti.....	84
Tablo 6.2. Evirici maliyeti.....	85
Tablo 6.3. Konstrüksiyon maliyeti.....	85
Tablo 6.4. Kablo maliyeti.....	86
Tablo 6.5. Kurulum ve devreye alma maliyeti.....	88
Tablo 6.6. Üretim lisans bedeli maliyeti.....	89
Tablo 6.7. Toplam yatırım bedeli.....	91
Tablo 6.8. Toplam yatırım bedeli (vergili).....	92
Tablo 6.9. Personel giderleri.....	93
Tablo 6.10. Bakım ve yenileme giderleri.....	94
Tablo 6.11. Sigorta giderleri.....	94
Tablo 6.12. Beklenmeyen giderler.....	95
Tablo 6.13. Toplam faaliyet giderleri.....	95
Tablo 6.14. Sistem kullanım ve işletim bedeli.....	96
Tablo 6.15. A grubu geri dönüşüm hesabı.....	99
Tablo 6.16. B grubu geri dönüşüm hesabı.....	100
Tablo 6.17. C grubu geri dönüşüm hesabı.....	101
Tablo 6.18. Ç grubu geri dönüşüm hesabı.....	102
Tablo 6.19. D grubu geri dönüşüm hesabı.....	103
Tablo 6.20. E grubu geri dönüşüm hesabı.....	104
Tablo 6.21. F grubu geri dönüşüm hesabı.....	105
Tablo 6.22. G grubu geri dönüşüm hesabı.....	106
Tablo 6.23. İç karlılık oranı hesabı.....	108

ÖZET

Anahtar kelimeler: Büyükçekmece ilçesi, güneş enerjisi, tasarım, enerji analizi, ekonomik analiz

Bu çalışma kapsamı altında, Büyükçekmece ilçesinde kurulması tasarlanan güneş enerji santralinin, 8 farklı sistemin ekonomik analizi ve enerji üretim değerlendirmesi yapılmıştır. Bu maksatla, günümüzde uygulamada olan 4 farklı güneş panel türü ve 2 farklı evirici modeline yönelik enerji üretim tetkiki gerçekleştirilmiştir. Bu inceleme için modelleme maksatlı olarak PV*SOL programından faydalanılmış olup meteorolojiye has veriler için Meteonorm verisinden yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra, çalışmamız dâhilinde, bir güneş enerji santralinde gerek duyulan tüm ekipmanların ve santralin kurulması planlanan sahanın yapısının detaylı bir incelemesi yapılmıştır.

Enerji üretimi analizi yapılan sistemlere yönelik olarak ekonomik analiz senaryoları uygulanmış ve bu senaryolar için iç kârlılık oranı ve geri ödeme süresi hesabı yöntemlerinden yararlanılmıştır. 8 ayrı sisteme yönelik olarak gerçekleştirilen hesaplamalar neticesinde, en uygun sistemin hangisi olduğu belirlenmiş ve bu sistemin tüm finansal değerleri hakkında bilgi verilmiştir.

Tüm bu incelemelerin sonucunda, enerji ve ekonomik analizleri yapılan sistemlerin karşılaştırılması yapılmış ve bu analizlerin birbirleri ile olan ilişkisi tespit edilmiştir. Bu sayede, güneş enerji sistemlerinin mali açıdan ve mühendislik açısından birbirlerine olan durumlarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır.

DESIGN AND ECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANT IN BÜYÜKÇEKMECE DISTRICT

SUMMARY

Keywords: Büyükçekmece district, solar power, design, power analysis, economic analysis

Within the scope of this research, economic analysis and power generation assessments were conducted for the 8 different systems of the solar power plant, which is planned to be constructed in Büyükçekmece district. For this purpose, 4 types of solar panels and 2 different inverter models that are in use today, were analyzed in terms of power generation. PV*SOL software was used for modeling in this analysis and Meteonorm data were used for meteorological information. Furthermore, all the equipment necessary for a solar power plant and the field where the plant is planned to be built were comprehensively analyzed within the framework of our research.

Economic analysis scenarios were applied to the systems which underwent power generation analysis and internal rate of return and payback period calculation methods were used for these scenarios. As a result of the calculations made for 8 different systems, the most applicable system was identified and all financial values of this system were explained.

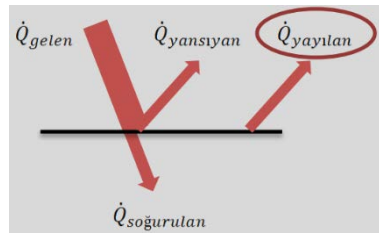
In consequence of all these analyses, the systems which underwent power and economic analyses were compared and the connection between the analyses was identified. In this way, the financial and engineering aspects of the solar power systems were comparatively analysed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Güneş sistemi dünya için temel bir enerji kaynağıdır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisi, Güneşin daha serin (yaklaşık 6000 °K) ve birkaç yüz kilometrelik dar bir üst alandan ulaşmaktadır. Bu alandaki atomlar, sıcaklıklarıyla orantılı olarak ışıma yapmakta ve böylece bu alanın ışımasına yol açmaktadırlar. Dünya, Güneşten yaklaşık 150 milyon km uzakta bulunmaktadır. Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ışınlardan oluşmakta ve Güneş-Dünya arasını yaklaşık 8 dakikada aşarak dünyaya ulaşmaktadır. Işınlamalar saniyede 300.000 km'lik bir hızla, bir başka deyişle ışık hızıyla yol almaktadırlar.

1.1. Işınmın Yolu İle Isı Transferi

Güneş panellerimize ulaşan güneş ışınları ısı ışınmın (radyasyon) yolu ile güneşten dünyamıza ulaşır. Isı ışınmında enerji, fiziksel bir ortam olmaksızın elektromanyetik dalgalar yardımıyla yayılarak geçer. Tüm cisimler (katı, sıvı, gaz) yüksek sıcaklıklarda elektro manyetik dalgalar şeklinde enerjiyi hem yayar hem de yutarlar. Yüzeze gelen ışınmın bir kısmı geri yansır, bir kısmı cisim tarafından soğurular ve geri kalan kısmı ise yüzeyden geçer. Işınmın ile ısı transferi için bir ortam gerekliliği bulunmamaktadır. Hatta ışınmın ile ısı transferi boşlukta daha etkin olarak gerçekleşir [1].



Şekil 1.1. Yüzeyden yayılan ışınm miktarı [1].

Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere, T_s sıcaklığına sahip bir yüzeyden birim zamanda yayılabilecek maksimum ışınım miktarı Stefan-Boltzman Kanunu ile belirlenir [1]. Siyah cisim ve gerçek cisim için yayılabilecek maksimum ışınım miktarı aşağıdaki denklemler (Denklem 1.1) (Denklem 1.2) ile bulunmaktadır [1].

$$Q_{yay} = \sigma A_s T_s^4 (W) \text{ Siyah cisim için} \quad (1.1)$$

$$Q_{yay} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 (W) \text{ Gerçek cisim için} \quad (1.2)$$

Gerçek cisimlerden yayılan ışınım, aynı sıcaklıktaki siyah cisimden yayılan ışınımdan daha azdır [1].

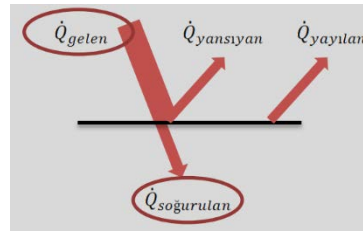
σ =Stefan-Boltzman sabiti $5.670 \times 10^{-8} (W/m^2K^4)$

A_s =Yüzey alanı (m^2)

T_s =Yüzeyin mutlak sıcaklığı (K)

Yüzeyin yayıcılığı (yayma katsayısı) : $0 \leq \varepsilon \leq 1$ (Gerçek cisim için)

$\varepsilon = 1$ (Siyah cisim için)



Şekil 1.2. Gelen ışın miktarı [1].

Şekil 1.2.'de görüldüğü üzere, bir yüzey üzerine güneşten ya da çevresindeki diğer kaynaklardan gelen ışınım da söz konusudur. Siyah cisim ve gerçek cisim için gelen ışınımı ise aşağıdaki denklemler (Denklem 1.3) (Denklem 1.4) ile bulunmaktadır [1].

$$Q_{gelen} = \sigma A_s T_{ç}^4 (W) \text{ Siyah cisim için} \quad (1.3)$$

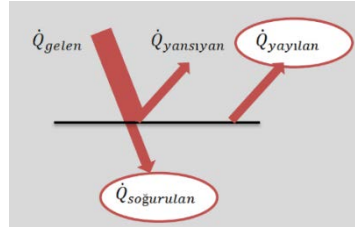
$$Q_{gelen} = \varepsilon \sigma A_s T_{ç}^4 (W) \text{ Gerçek cisim için} \quad (1.4)$$

Yüzey üzerine gelen ışınımın bir kısmı ya da tamamı yüzey tarafından soğurulabilir ve soğurulan bu enerji, yüzeyin α soğurma (ya da yutma) oranı bilindiği takdirde denklem (Denklem 1.5) ile hesaplanabilir [1].

$$Q_{\text{soğurulan}} = \alpha Q_{\text{gelen}} \quad (1.5)$$

Yüzeyin soğurganlığı (soğurma katsayısı) : $0 \leq \alpha \leq 1$

$\alpha = 1$ (Siyah cisim için)



Şekil 1.3. Net ışıınım ısı transferi [1].

Şekil 1.3.'de görüldüğü üzere, bir cismin yaydığı ve soğurduğu ışıınım arasındaki fark net ışıınım ısı transferi denklemler (Denklem 1.6) (Denklem 1.7) (Denklem 1.8) ile ifade edilmiştir [1].

$$Q_{\text{ışıınım}} = Q_{\text{yayılan}} - Q_{\text{soğurulan}} \quad (1.6)$$

$$Q_{\text{ışıınım}} = Q_{\text{yayılan}} - \alpha Q_{\text{gelen}} \quad (1.7)$$

$$Q_{\text{ışıınım}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 - \varepsilon \sigma A_s T_\zeta^4 \text{ (W)} \quad (1.8)$$

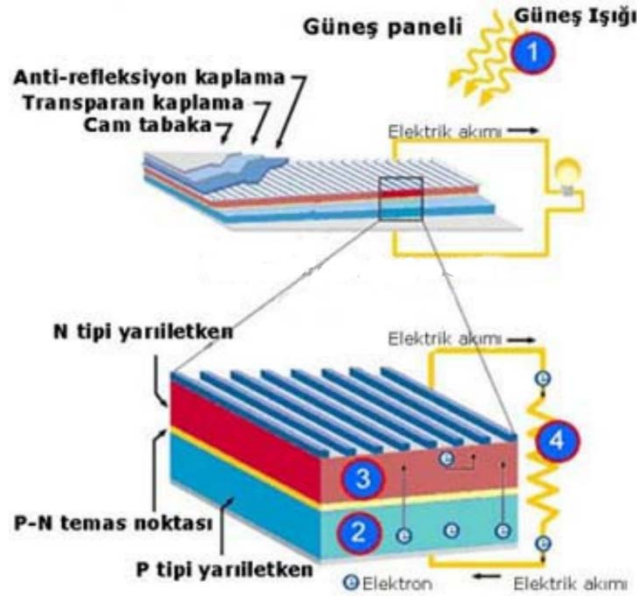
1.2. Güneş Pilleri

Güneş pilleri ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik araçlardır. Güneş pilleri yarı iletken bir diyot olarak çalışırlar. Güneş pili hücrelerinin üst tabakaları çatlamaların, kırılmaların ve enerji kaybının önlenmesi için yansımayı önleyici kaplama ve korumalardan oluşur. Bu katmanların altında ise N tipi ve P tipi yarıiletken maddeler bulunur. N ve P tipi maddeler yarıiletken maddelerin eriyik halindeyken istenilen maddeler ile kontrollü olarak katkılanırılması sonucu oluşurlar. Güneş pillerinde yarıiletken madde olarak çoğunlukla çok kristalli silisyum kullanılmaktadır [2].

Monokristal güneş pillerinde malzemenin atomik yapısı homojendir. Monokristalin güneş pilleri verimlilik kapasitesi diğerlerine göre en yüksek olan (%20) güneş pili çeşididir. Monokristalin güneş pillerinin üretimleri teknik açısından daha zor olduğundan ve daha çok zaman aldığından dolayı bu tip güneş pillerinin fiyatları da

verimlilik kapasiteleri gibi diğer güneş pili çeşitlerinden daha yüksektir. Ancak uzun süreli kullanımlar için düşünüldüğünde monokristalin güneş pilleri dayanıklılık ve verim açısından daha iyi bir seçenek olacaktır [2]. Polikristalin güneş pillerinde malzeme birçok monokristalden oluşur ve atomik yapı homojen değildir. Polikristalin güneş pillerinin verimlilik kapasitesi yaklaşık %16 olup monokristalin güneş pillerine göre daha düşüktür. Polikristalin güneş pillerinin maliyeti monokristalin güneş pillerinden daha düşük olduğu ve verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğu için bu tip güneş pilleri en sık üretilen güneş pilleridir [2].

1.3. Güneş Paneli Elektrik Üretimi



Şekil 1.4. Güneş paneli elektrik üretimi prensibi [2].

Şekil 1.4.'de belirtilen adımlara göre elektrik üretimi;

1. Güneş ışığı güneş pili üzerine düşer ve fotovoltaik hücreler tarafından absorbe edilir. Güneş pilinde çok elektrona sahip P tipi yarıiletken madde ve az elektrona sahip N tipi yarıiletken madde bulunur.
2. Güneş ışığı P tipi yarıiletken maddeden elektron koparır.
3. Enerji kazanan elektronlar N tipi yarıiletken maddeye doğru akarlar.
4. Bu sabit tek yönlü elektron akışı doğru akımı (DC) yaratır. Elektronlar kurulan devreler boyunca akarak pillerin şarj edilmesinde ya da farklı alanlarda kullanılır ve P tipi yarıiletken maddeye geri döner [2].

BÖLÜM 2. BÜYÜKÇEKMECE İLÇESİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ

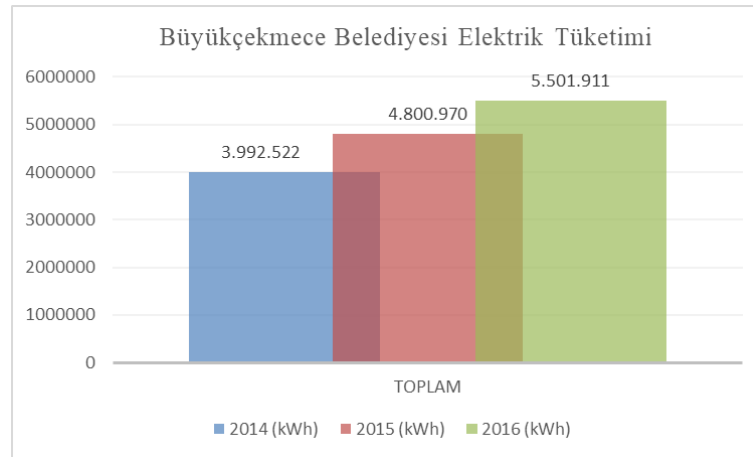
Çalışmamızın konusu olan Büyükçekmece ilçesinde güneş enerji santralının tasarımı ve ekonomik analizi, Büyükçekmece Belediyesi Meclisinin 09.01.2015 tarihli 13 numaralı kararına istinaden planlanmıştır [3].

2.1. Proje Hakkında

Büyükçekmece İlçesi sınırları dâhilinde gerçekleştirilmek istenen yatırım, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde eden enerji üretim santrali kurmaya yönelik olarak planlanmıştır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmeyi amaçlayan tesis, bu işlemi doğrudan gerçekleştiren fotovoltaik teknolojilerinden faydalanacaktır.

Güneş enerji tesisinin kuruluş gayesi Büyükçekmece Belediyesinin elektrik bedellerini karşılayabilmek ve fazla üretilen enerjiyi sisteme aktararak elektrik satışı yapmaktır. Büyükçekmece Belediyesinin giderek artış gösteren enerji gereksiniminin ilçe bünyesinde enerji üreten bir santralden dolaysız yoldan temin edilmesi ve buna bağlı olarak taşınım ve iletim zayıflığının düşmesi azaltılan CO₂ salınımı için de oldukça caziptir.

Büyükçekmece Belediyesi'nin elektrik enerjisi tüketimi yıllara oranla git gide artış göstermektedir. Şekil 2.1.'de bu bölgede son 3 yılda tüketilen elektrik enerjisi oranlarının karşılaştırmasına yer verilmiştir. Bu oranlara göre elektrik enerjisi tüketiminde son 3 yıl içerisinde sürekli olarak bir artış yaşandığı görülmektedir. Buradan hareketle, bahsi geçen bölgede bir enerji üretim tesisinin kurulmasının gerekliliğini söylemek mümkündür [4].



Şekil 2.1. Büyükçekmece Belediyesi elektrik tüketimi [4].

Büyükçekmece Belediyesi'ne ait elektrik enerjisi tüketim değerleri, bu sahada kurulması tasarlanan güneş enerjisi tesisinin uygunluğuna işaret etmektedir. Ayrıca bu değerler yıllara oranla artış gösterecektir.

2.2. Santral Sahasının Özellikleri - Santral Bölgesinin Nitelikleri

Güneş enerji tesisinin inşa edileceği alan Büyükçekmece İlçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Büyükçekmece ilçesi, 41.01 kuzey enlemleri, 28.58 doğu boylamları arasında Marmara Denizi sahilinde ve İstanbul'un batı yakasında yer almaktadır. Alan büyüklüğü 18.145 hektar olup ilçenin doğusunda Esenyurt ilçesi, kuzeyinde Arnavutköy ve Çatalca ilçeleri, batısında ise Silivri ilçesi ve güneyinde Marmara Denizi ile Beylikdüzü ilçesi yer almaktadır. Güneş enerji tesisini kuruluşu için tercih edilen Büyükçekmece ilçesi, yıl içerisinde güneş ışınımı oldukça iyi alan bölgelerden bir tanesidir. Şekil 2.2.'de Büyükçekmece ilçesinin fiziksel haritasına yer verilmiştir [5].



Şekil 2.2. Büyükçekmece fiziki haritası [5].

Şekil 2.3.'te belirtildiği üzere proje alanı; 1. (enlem: $41^{\circ} 4' 51''$ boylam: $28^{\circ} 36' 20''$), 2. (enlem: $41^{\circ} 4' 56''$ boylam: $28^{\circ} 36' 43''$), 3. (enlem: $41^{\circ} 4' 58''$ boylam: $28^{\circ} 36' 46''$), 4. (enlem: $41^{\circ} 4' 49''$ boylam: $28^{\circ} 36' 21''$) noktaları arasında olup alanı 70000 m^2 olup Arazi ortalama eğimi ise $6,5^{\circ}$ dir.



Şekil 2.3. Proje alanı koordinatları

Şekil 2.4.'te belirtildiği üzere tasarımı yapılacak güneş enerji santrali 5 farklı etaba bölünmüş olup 1. etap alanı 10045 m^2 , 2. etap alanı 14309 m^2 , 3. etap alanı 14135 m^2 , 4. etap alanı 15030 m^2 , 5. etap alanı 16457 m^2 dir.



Şekil 2.4. Proje alanı etapları

Şekil 2.3. ve şekil 2.4.'te görüldüğü üzere proje alanı yüksek katlı yapılaşmadan uzakta olup çevresi az katlı (villa) yapılaşma mevcuttur. Kısacası proje alanı yakınlarında tasarımı yapılacak güneş enerji santrali üzerine gölgelenme yapacak yapı bulunmamaktadır. Kurulacak güneş santralinin verimliliği ortamın sıcaklığına göre değişimler gösterebilmektedir. Güneş panelleri ideal sayılan 25°C sıcaklık ortamında test edilmektedir. Panellerin gösterdikleri etkiler ve verimleri bu sıcaklık ortamına göre hesaplanmaktadır. Güneş ışınlarının panellere temas etmesiyle birlikte elektrik üretimi başlar fakat verimlerin %100'e ulaşmamasından ötürü güneş enerjisinin bir bölümü elektrik enerjisi olarak ortaya çıkarken bir bölümü de ısı enerjisine dönüşür. Bu hadiseden dolayı paneller ısınır. Güneş hücrelerinin ısınmasıyla birlikte gerilim (V) değeri düşerken akım (I) artar. Gerilim değerinde yaşanan düşüşün yüksek olmasıyla birlikte çıkış gücünde de düşüş yaşanır ve bu durum verimin kaybına sebebiyet verir [6]. Buna binaen santral sahasının sıcaklık değerleri araştırılmalı ve bu yönde yatırım yapılmalıdır.

İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Son İklim Periyoduna (1929 - 2016)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.0	6.1	7.7	12.0	16.8	21.4	23.8	23.8	20.1	15.7	11.7	8.2	14.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.5	9.0	10.9	15.5	20.0	24.6	26.6	26.8	23.7	19.2	14.8	10.7	17.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.2	3.1	4.2	7.7	12.1	16.5	19.5	20.1	16.8	13.0	8.9	5.4	10.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.6	3.4	4.4	6.3	8.5	10.4	11.3	10.4	8.2	5.4	4.0	2.5	78.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17.2	15.1	13.7	10.2	8.0	6.1	4.2	4.9	7.4	11.2	13.0	17.2	128.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	104.4	78.2	71.5	46.1	34.2	35.9	32.5	40.1	60.6	87.8	101.2	122.7	815.2
Son İklim Periyoduna (1929 - 2016)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.0	24.7	29.3	33.6	34.5	40.2	41.5	40.5	37.9	34.2	27.8	25.8	41.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-13.9	-16.1	-11.1	-2.0	2.8	7.1	10.5	10.2	6.0	0.6	-7.2	-10.8	-16.1

Şekil 2.5. İstanbul 1929-2016 yılları arası meteorolojik verileri [7].

verilerin hatalı neticelere sebep olabileceği düşünülmektedir. Bundan dolayı güneş enerjisi fizibilite çalışmalarının kabul görmüş farklı ölçüm merkezlerinden sağlanan veriler kullanılarak yapılmasının daha faydalı olacağı öngörülmektedir. Bunun yanı sıra santralin kurulması planlanan bölgenin yakınında kurulabilecek bir ölçüm merkezi aracılığıyla da birebir ölçüm elde etmek fizibilite çalışmaları duyarlılığını kuvvetlendirecek faktörler arasında değerlendirilmektedir. Çalışmamızda, güneşlenme verilerini duyarlı bir şekilde tetkik etmek amacıyla Büyükçekmece ilçesi için 4 ayrı veri tabanı temel alınarak elde edilen verilerden yararlanarak kullanılacaktır. Bu 4 ayrı veri tabanı Meteoroloji, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) ve Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) olacaktır.

2.3.1. Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS)

PVGIS, Ortak Araştırma Merkezi (EC JRC) tarafından Avrupa Birliği (AB) çatısı altında, hazırlanan küresel ışınlam haritası Afrika ve Avrupa ülkelerini kapsamaktadır [9].



Şekil 2.7. Türkiye güneşlilik haritası [9].

Şekil 2.7.'e bakıldığında, Türkiye'nin 1.400-2.000 kWh/m² aralığında küresel ışınlam potansiyeli taşıdığı anlaşılmaktadır [10]. Kuzey şeridi, Marmara Bölgesi ve Orta Karadeniz bölümünde 1.400-1.500 kWh/m² olan ışınlam verileri, akdeniz bölgesine

indikçe artış göstermekte Ege ve Orta Anadolu’da 1.600-1.800 kWh/m² aralığında değer göstermektedir. Orta Doğu Anadolu’dan başlamak suretiyle Güneydoğu Anadolu’da 1.900 kWh/m²’ ye varan ışınlm verileri, Akdeniz Bölgesi’nde ışınlmın en üst seviyedeki 1.900 kWh/m² düzeyine ve üstüne erişmektedir.

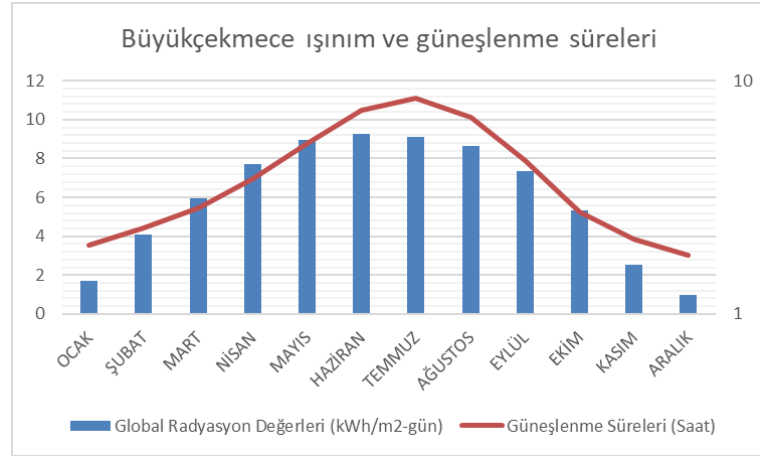
Tablo 2.1. Büyükçekmece aylık ve yıllık küresel ışınlmı kWh/m² (PVGIS) [11].

AY	GLOBAL İŞINIM DEĞERLERİ (kWh/m ² -ay)
OCAK	79,6
SUBAT	90
MART	148
NİSAN	167
MAYIS	202
HAZİRAN	205
TEMMUZ	223
AĞUSTOS	217
EYLÜL	178
EKİM	138
KASIM	98,9
ARALIK	68,2
TOPLAM	1814,7

PVGIS veri tabanı temel alınarak hazırlanan Büyükçekmece ilçesi yıllık ve aylık küresel ışınlm değerleri Tablo 2.1.’de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi en fazla ışınlm miktarı 223 kWh/m² ile temmuz ayında, en az ışınlm miktarı ise 68,2 kWh/m² ile aralık ayında sağlanmıştır. PVGIS yıllık toplam ışınlm miktarı 1814,7 kWh/m² dir [11].

2.3.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası veri tabanı (GEPA)

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili potansiyeli saptamak için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nce GEPA hazırlanmaktadır [12]. Model ölçümlemesinin yapılması ve modelde temel alınacak parametrelerin hesaplanabilmesi için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) istasyon merkezlerinde 1985 - 2006 tarih aralığında ölçümü yapılan 22 senelik saatlik güneş ölçüm değerlerinden faydalanılarak hazırlanmıştır. Ülkemizin senelik ortalama güneşlenme süresi 7,49 saat ve güneş ışınlmı 4,17 kWh/m².gün olarak saptanmıştır [13].



Şekil 2.9. Büyükçekmece ışınım ve güneşlenme süreleri (GEPA)

Şekil 2.9.'dan hareketle, Mayıs ayı verilerinin 9 saatten az olmasıyla beraber, Mayıs-Ağustos dönemine ait ortalama güneşlenme süresi de 10 saat olarak göze çarpmaktadır. En az güneşlenme süreleri Ocak ve Aralık aylarında gözlenmekte olup bu aylara ait günlük güneşlenme sürelerinin 4 saatten az olduğu görülmektedir. Aylık değerlerin kıyaslanması sonucunda ise güneş ışınım toplamının da güneşlenme sürelerinin paralelinde bir seyir izlediği göze çarpmaktadır.

Tablo 2.2. Büyükçekmece global ışınım değerleri (kWh/m²-gün) (GEPA) [15].

AY	GLOBAL IŞINIM DEĞERLERİ (kWh/m ² -ay)
OCAK	1,39
ŞUBAT	2,18
MART	3,13
NİSAN	4,39
MAYIS	5,56
HAZİRAN	5,95
TEMMUZ	5,73
AĞUSTOS	5,25
EYLÜL	4,11
EKİM	2,77
KASIM	1,63
ARALIK	1,2

Şekil 2.9.'u oluşturan GEPA günlük global ışınım değerleri Tablo 2.2.'de belirtilmiştir. Görüldüğü gibi en fazla ışınım miktarı 5,95 kWh/m² ile haziran ayında, en az ışınım miktarı ise 1,2 kWh/m² ile aralık ayında sağlanmıştır [15].

Tablo 2.3. Büyükçekmece güneşlenme süresi (saat) (GEPA) [15].

AY	GÜNEŞLENME SÜRELERİ (Saat)
OCAK	3,52
ŞUBAT	4,43
MART	5,48
NİSAN	6,97
MAYIS	8,76
HAZİRAN	10,51
TEMMUZ	11,13
AĞUSTOS	10,11
EYLÜL	7,92
EKİM	5,23
KASIM	3,83
ARALIK	3,02

Şekil 2.9.'u oluşturan GEPA günlük güneşlenme süreleri Tablo 2.3.'te belirtilmiştir. Görüldüğü gibi en düşük güneşlenme süresi 3,02 saatle aralık ayında, en yüksek güneşlenme süresi ise 11,13 saatle temmuz ayında sağlanmıştır [15].

Büyükçekmece ilçesi, GEPA güneşlenme ve ışıınım verileri, farklı veri tabanları ile kıyaslamak amacıyla aylık toplam küresel ışıınım verisine dönüşümü yapılarak kullanılmıştır. Bu dönüşüm işlemi, günlere göre saptanan ışıınım değerlerinin her ayın gün sayısı ile çarpılması sonucu yapılmıştır. Küresel ışıınım verileri Tablo 2.4.'te verilmektedir [15].

Tablo 2.4. Büyükçekmece global ışıınım değerleri (kWh/m²-ay) (GEPA) [15].

AY	GLOBAL IŞINIM DEĞERLERİ (kWh/m ² -ay)
OCAK	41,7
ŞUBAT	61
MART	97
NİSAN	131,7
MAYIS	172,4
HAZİRAN	178,5
TEMMUZ	177,6
AĞUSTOS	157,5
EYLÜL	127,4
EKİM	83,1
KASIM	50,5
ARALIK	36
TOPLAM	1314,5

Görüldüğü gibi en fazla ışıınım miktarı 178,5 kWh/m² ile haziran ayında, en az ışıınım miktarı ise 36 kWh/m² ile aralık ayında sağlanmıştır. GEPA yıllık toplam 1314,5 kWh/m² küresel ışıınım öngörüsünde bulunmaktadır [15].

2.3.3. Meteonorm veri tabanı

Meteonorm, toplamda 8.000'den fazla ölçüm merkezinden elde ettiği meteoroloji verileriyle istenen herhangi bir koordinata ait güneşlenme süresi, güneş ışıınımı, sıcaklık ve yağış miktarı gibi tasarım parametrelerinin hesabını yapan meteorolojik bir referans yazılım çeşididir [16]. Güneş enerjisi projeleri planlanırken meteonorm yazılımından yaygın bir şekilde yararlanılmakta olup bu yazılım, güvenilirliği yüksek bir referans veri tabanı olarak kabullenilmiştir. Metenorm yazılımı, ölçüm merkezi olmayan bölgeler için, en yakın bölgede yer alan istasyon ölçümlerinden yararlanarak interpolasyon modelleri ile hesaplama işlemlerini gerçekleştirmektedir. İnterpolasyon ile temin edilen aylara göre belirlenmiş ışıınım değerlerinde % 9 ve sıcaklık için 1,5° C duyarlılık oranı olduğu belirtilmiştir [17]. İstanbul, bu veri tabanında önceden tanımlanmış sahalar arasında yer almaktadır. Işıınım verileri için 1991-2010 yılları ve sıcaklık verileri için 2000- 2009 ölçüm periyotları temel alınarak, Büyükçekmece'deki proje alanı Meteonorm veri tabanının Atatürk havalimanı (22 km), Tekirdağ (90 km), Gölcük/Dumluşınar (109 km), Bandırma (102 km), Bursa (107 km)' da bulunan güneş ışıınım ölçüm istasyonlarındaki değerleri interpolasyon yapılarak proje alanındaki aylık ışıınım verilerini oluşturulmuştur.

Tablo 2.5. Büyükçekmece global ışıınım değerleri (kWh/m²-ay) (Meteonorm) [17].

AY	GLOBAL IŞINIM DEĞERLERİ (kWh/m ² -ay)
OCAK	49
ŞUBAT	59
MART	100
NİSAN	139
MAYIS	179
HAZİRAN	190
TEMMUZ	200
AĞUSTOS	171
EYLÜL	129
EKİM	90
KASIM	58
ARALIK	43
TOPLAM	1407

Tablo 2.5.'te görüldüğü gibi en fazla ışıınım miktarı 200 kWh/m² ile temmuz ayında, en az ışıınım miktarı ise 43 kWh/m² ile aralık ayında sağlanmıştır. Meteonorm yıllık toplam 1407 kWh/m² global ışıınım öngörmektedir [17].

2.3.4. NASA veri tabanı

Yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği fizibilite analizi çalışmalarının yanı sıra devam edegelen enerji performanslarına ait analizler için temiz enerji yazılım programı RETScreen Expert programı iklim veri tabanı olarak NASA ışıınım verilerini kullanmaktadır [18]. Santral sahası için en yakın kullanılacak veri ise Atatürk Havalimanı'ndaki aylık ışıınım verileridir.

Tablo 2.6. Büyükçekmece global ışıınım değerleri (kWh/m²-ay) (NASA) [18].

AY	GLOBAL IŞINIM DEĞERLERİ (kWh/m ² -ay)
OCAK	50,4
ŞUBAT	68,6
MART	113,2
NİSAN	144,6
MAYIS	194,4
HAZİRAN	216,3
TEMMUZ	226,3
AĞUSTOS	192,3
EYLÜL	155,3
EKİM	94,2
KASIM	59,2
ARALIK	41,4
TOPLAM	1556,1

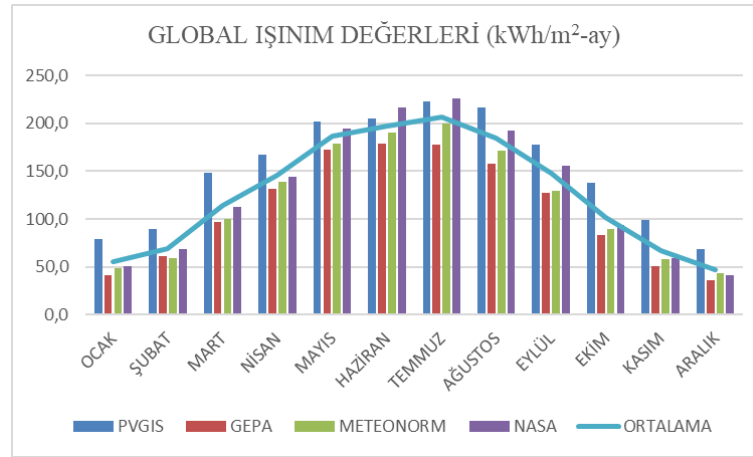
Tablo 2.6.'da görüldüğü gibi en fazla ışıınım miktarı 226,3 kWh/m² ile temmuz ayında, en az ışıınım miktarı ise 41,4 kWh/m² ile aralık ayında sağlanmıştır. NASA yıllık toplam 1407 kWh/m² global ışıınım öngörmektedir [18].

2.3.5. Veri tabanlarının karşılaştırılması

Tablo 2.7. Büyükçekmece için 4 farklı veri tabanının global ışıınım değerleri karşılaştırması

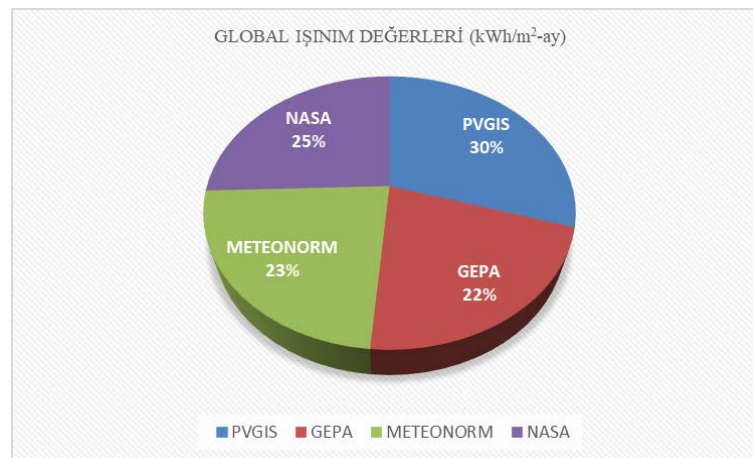
AY	GLOBAL IŞINIM DEĞERLERİ (kWh/m ² -ay)				
	PVGIS	GEPa	METEONORM	NASA	ORTALAMA
OCAK	79,6	41,7	49,0	50,4	55,2
ŞUBAT	90,0	61,0	59,0	68,6	69,7
MART	148,0	97,0	100,0	113,2	114,5
NİSAN	167,0	131,7	139,0	144,6	145,6
MAYIS	202,0	172,4	179,0	194,4	186,9
HAZİRAN	205,0	178,5	190,0	216,3	197,5
TEMMUZ	223,0	177,6	200,0	226,3	206,7
AĞUSTOS	217,0	157,5	171,0	192,3	184,5
EYLÜL	178,0	127,4	129,0	155,3	147,4
EKİM	138,0	83,1	90,0	94,2	101,3
KASIM	98,9	50,5	58,0	59,2	66,7
ARALIK	68,2	36,0	43,0	41,4	47,2
TOPLAM	1814,7	1314,5	1407,0	1556,1	1523,1

Tablo 2.7.'deki veriler incelendiğinde aylara göre küresel ışınım değerlerinin en üst düzeydeki şiddeti PVGIS hesaplamalarından 1814,7 kWh/m² ile elde edilirken, en alt düzeydeki şiddet ise GEPA 1314,5 kWh/m² olarak vermiştir.



Şekil 2.10. Aylık global ışınım değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 2.10.'da farklı veri tabanları esas alınarak elde edilen küresel ışınım değerlerine ait grafiksel karşılaştırılma sunulmuştur. Buna göre Şekil 2.10.'da, farklı veri tabanlarına ait veri setlerinin yıl içerisinde, aynı seyrinde ilerlediği gözlenmektedir.



Şekil 2.11. Yıllık global ışınım değerlerinin karşılaştırılması

Farklı veri tabanları esas alındığında yıllık küresel ışınım verilerinin şiddet düzeylerine göre en düşüğe en yükseğe; GEPA(%22), Meteonorm(%23), NASA(%25) ve PVGIS (%30) şeklinde sıralandıkları Şekil 2.11.'de görülmektedir. 4 farklı sistem tek tek incelenerek karşılaştırılmış ve yıllık ışınım değerleri arasında çok büyük fark olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ancak 4 farklı sistemde proje sahasındaki değerleri

elde edebildiğimiz tek veri sistemi Meteonorm' dur. Meteonorm sisteminin kurulacak santral sahasının ışınlam verilerini en yakın 5 farklı veri ölçüm istasyonunun interpolasyonu ile bularak ışınlam verilerini oluşturur. Diğer 3 sistem ise santral sahasına en yakın noktadaki ölçüm istasyonlarının verilerini vermektedir. Çalışmalarımızın daha gerçekçi olabilmesi adına Meteonorm verileri bu çalışma kapsamında kullanılacaktır.

2.4. Kurulacak Tesisin Özellikleri

Kurulması planlanan güneş enerji tesisi için 5,5-6 MW arasındaki kurulu güçten yana tercih kullanılmıştır. Bu tercihin belirlenmesinde teknik ve ekonomik bazı sebepler belirleyici rol oynamıştır. Bu çerçevede, çalışmamızın kapsamı içinde 5,5-6 MW kurulu gücü olan güneş enerji santrallerinin analizleri gerçekleştirilecektir.

Güneş enerjisi santrali belirtildiği üzere 5,5-6 MW arasında kurulu güç kapasitesinde olup gerçekleştirilecek çalışmalar kapsamında farklı eviricilerden ve farklı güneş panellerinden yararlanılacaktır. Bu çalışmalara göre yapılacak karşılaştırmalar için çeşitli sayılarda güneş paneli kullanılacaktır. Bunun yanı sıra, polikristal hücre tipli paneller kullanılacak olup güneş panelleri genel olarak 300 W veya 310 W gücünde olduğu için santral içerisinde 18.500 ile 19.500 adet arasında güneş paneli kullanılması planlanmaktadır.

Çalışmamızın kapsamı içerisinde ele alınan güneş enerji santralinin 5,5-6 MW kurulu güce sahip olması sebebiyle sistem çıkışında 2 tane kuru tip transformatörden faydalanılması tasarlanmaktadır. Sistem bünyesinde 2 adet transformatörden faydalanılmasının nedeni, bir ünite içerisinde meydana gelebilecek arıza anlarında sistemin tamamında enerji üretiminin kesilmesinin önüne geçmektir. Bunun yanı sıra transformatör türü olarak bakımsız şekilde ifade edilen kuru tip transformatörlerden faydalanılması tasarlanmakta olup bu sayede, işletme, bakım ve onarım masraflarının da azaltılması öngörülmektedir.

Kurulması tasarlanan güneş enerji santraline tahsis edilen proje alanına en yakın mesafedeki trafo santrali Şekil 2.12.'de sunulmuştur.



Şekil 2.12. Beylikdüzü trafo merkezi

TEİAŞ Genel Müdürlüğü 1. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğüne ait Beylikdüzü trafo merkezidir. Bu trafo merkezi, Hadımköy yolu kenarında, Büyükçekmece ilçesi sınırında yer almaktadır.



Şekil 2.13. İstanbul trafo merkezi ve bağlantı hatları [19].

Beylikdüzü Trafo Merkezi, bahsi geçen grup müdürlüğü çatısı altında yer alan 380/154 kV Ambarlı Trafo Santrali ile 154 kV Esenyurt Trafo Santrali arasındaki bölgede bulunmaktadır. Millî Yük Tevzii 154 kV enterkonnekte sistem ringi dâhilinde bulunan trafo santrali, havai hat iletkenleriyle 154 kV enterkonnekte sisteme bağlantılanmış olup Şekil 2.13.'te TEİAŞ millî elektrik sistemi haritasının üzerinde sunulmaktadır [19].

Güneş enerji tesisleri genellikle uzaktan kontrol yöntemi ile yönetilmektedir. Bir otomasyon sistemiyle yönetilen santralde meydana gelebilecek herhangi bir problem servis elemanlarına doğrudan iletilmektedir. Hata sinyali alan servis personeli merkeze gidip problemin ortadan kaldırılmasıyla yükümlüdür. Güneş enerji tesisi; doğal afetler, yangın ve hırsızlık gibi tehlikeler için sigorta altına alınacaktır. Bunun yanı sıra güneş enerji merkezi, 24 saat boyunca 360° görüş açılı termal kameralarla izlenecek ve tesisin etrafı uygun tel çitlerle çevrilecektir. Panellerin temizliğini sağlamak amacıyla “2” işçi vazifelendirilerek haftanın 1 günü akşam vakti ve tesisin kapanmasının ardından güneş panellerini yalnızca suyla yıkayacak ve böylece olası verim düşüşünü önleyeceklerdir. Santral alanı içinde 2 tane trafo binası bulunması tasarlanmıştır. Bununla birlikte, 90 m² kullanım sahasında güvenlik binası inşa edilecek ve servis şirketi tarafından aylık olarak santralin düzenli bakımını yapılacaktır [20]. İşletme politika giderleri ayrıntılı olarak Bölüm 6’te incelenecektir.

BÖLÜM 3. ANALİZ PROGRAMI, PANEL VE EVİRİCİLER HAKKINDA

3.1. PV*SOL Analiz Programı Hakkında

Güneş enerji tesisinin senelik enerji üretiminin, bir güneş enerjisi santraline ait ekonomik analizin en mühim parçalarından olduğu değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, senelik enerji üretimine yönelik olarak yapılan çalışmalarda duyarlılığın mümkün mertebede artırılması için finans kuruluşları tarafından hesaplama sonuçlarının kredilendirdiği ve dünya çapında çok geniş bir kullanım ağına sahip olan PV*SOL yazılımından yararlanılacaktır. PV*SOL programı meteorolojiye ait veriler için finans kuruluşlarınca da uygun bulunan ve çalışmamız kapsamı altında bölgedeki ölçüm merkezine en yakın verilerin sağlandığı Meteonorm programı ile temin edilen veriler kullanılmaktadır. Valentin Software dinamik yazılım programı, PV*SOL aracılığıyla depolama sistemleri ve öz tüketimi de hesaba katarak doğru ölçüm yapabilir. Güneş enerji santralinin çevresinde gölgelenme yapan unsurların santrale tesiri entegre yapılır ise santral verimliliği için daha iyi bir netice alınabilir. Saha uygulamalarının üç boyutlu ve maksimum 5000 panel ile gölgelenme etkisini hesaba katarak 3 boyutlu entegrelerle enerji analizi hesaplanabilir. Bu nedenle gölgelenme etkisini ve ayrıntılarını panel başına değerlendirilebildiği için sistem verimliliği ve optimasyonunun analizini doğru yapabilir [21].

3.2. PV*SOL'un Analiz Programının Özellikleri

MeteoSyn İklim veritabanı, Dünya çapında meteonorm 7.0 bazın da 1986-2005 yılları için sunulan 8000'den çok iklim verisi bulundurmaktadır. İklim verileri harita üzerinden rahatlıkla anlaşılabilir. Bunun yanı sıra yeni iklim verilerini, ölçümlerini

kaydederek ya da hâlihazırdaki veri tabanıyla interpolasyon yaparak oluşturabilir [21].

Geniş tabanlı panel ve evirici veri tabanında 13000 panel ve 3100 evirici kayıtlı mevcut olup veri tabanı otomatik bir şekilde kendisini güncelleştirebilmektedir. Üreticiler veri tabanındaki kayıtları güncelleştirebilmektedir. Neticeye varmayı hızlandırmak amacıyla favori listesi oluşturmak mümkündür [21].

PV*SOL analiz programında, sonuç özeti simülasyona ait detaylandırılmış sonuçları, nakit akışlarını ve tabloları sunmaktadır. Enerji bilanço tablosuyla bir fotovoltaik sisteme ait tüm bütün kayıp ve gelirlerini değerlendirmek mümkündür [21].

3.3. Sistemlerde Kullanılan Güneş Panellerinin Özellikleri

3.3.1. Güneş panellerinin temel, elektriksel ve mekaniksel verileri

Güneş enerji santral sisteminde 4 farklı panelin birbiri ile kıyaslamalı enerji ve ekonomik analizleri yapılacağı için güneş panellerinin teknik özelliklerini bilmemiz gerekmektedir. Güneş panellerinin temel, elektriksel ve mekaniksel verileri Tablo 3.1.'de belirtilmektedir [22].

Bu tabloda 4 farklı panelinde hücre tipi olarak fotovoltaik sektör teknolojisi içerisinde kullanımı en yaygın olan ve üretimi daha kolay ve daha ucuz olan Polikristal kullanılmıştır. 4 farklı panel markasının herbir panelindeki hücre sayısı 72 adettir [22].

Güneş panellerine her zaman aynı güneş ışığı gelmez. Belirli bir gölgeleme durumunda panel gücünde düşme olur. Bu düşümü önlemek için "Bypass Diyotlar" kullanılır. Bypass diyotlar, gölgeli bir durumda aktifleşerek ilettime geçer. Akım, diyotlar üzerinden akarak panel gücünde azalma engellenmiş olur. Bypass diyotlar güneş panelinin pozitif ve negatif çıkış terminalleri arasında ters yönlü olarak bağlanır ve çıkış üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Düşük direnç etkisi göstererek akım akmasını sağlar. İdeal olarak her bir hücreye bağlanması gereken bypass diyot,

maliyeti artırdığı için panel çıkışlarına bağlanmaktadır. 4 farklı panelde bypass diyot sayısı 3 adet olarak belirlenmiştir [23].

Panellerinin boyutları arasında ise büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Panel boyutlarının önemi panellerin santral sahasında montajında önem arz etmektedir. Panellerin santral sahasında birbiri üzerinde gölge oluşturmaması ve maksimum miktarda panel yerleşimi yapılması için panel boyutları önem arz etmektedir.

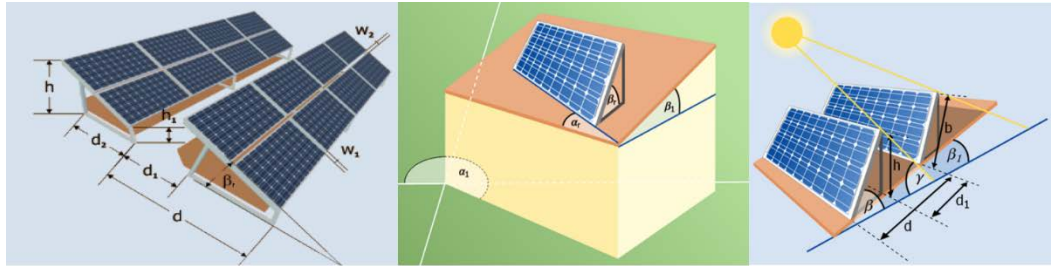
Tablo 3.1. Güneş panellerinin temel, elektriksel ve mekanik verileri [22].

Güneş Panellerinin Temel-Elektriksel-Mekanik Verileri					
Panel Markası	Jinko Solar	Canadian Solar	Trina Solar	Yingli Solar	
Tip	JKM310P-72	CS6X-310P	TrinaTSM-PC14A 300	YL310P-35b_IEC_2013-08	
Sertifikalar	ETL* UL** SB1***	ETL* UL** SB1***	SB1*** CE	ETL* UL** SB1***	Temel veriler
Hücre tipi	Polikristal	Polikristal	Polikristal	Polikristal	Elektriksel veriler
Hücre sayısı	72	72	72	72	
Bypass diyot sayısı	3	3	3	3	
Genişlik (mm)	992	982	992	990	
Uzunluk (mm)	1956	1954	1956	1970	Mekanik veriler
Derinlik (mm)	40	40	40	50	
Çerçeve genişliği (mm)	11	35	9	12	
Ağırlık (kg)	26,5	23	27,6	26	
Güneş yüzey alanı (m ²)	1,94	1,92	1,94	1,95	

*Elektrik test laboratuvarları sertifikası ** Güvenlik sertifikası ***Kurallara uyumlu ürünler sertifikası

3.3.2. Güneş panellerinin montaj detayları

Santral sahasında kullanılacak 4 farklı (Jinko, Canadian, Trina, Yingli) güneş paneli markası kullanılacaktır. Bu markaların kullanılmasının sebebi ise piyasada rahat bulunabilirliği, güvenilirliği, bakım ve servis ağının geniş olmasıdır. panellerin montaj detayları Şekil 3.1.'de ayrıntılı gösterilmiş olup Tablo 3.2.'de montaj değerleri belirtilmiştir [22].



Şekil 3.1. Güneş paneli montaj detayları [22].

Şekil 3.1.'de belirtildiği üzere; W_1 : Panel dikey aralığı, W_2 : Panel yatay aralığı, h_1 : Alt kenar yüksekliğini temsil etmektedir. β_r : Montaj açısı, β_1 : Montaj yüzeyinin eğimi, α_r : Montaj yüzeyinin yönünü temsil etmektedir. d : Satır aralığı d_1 : Montaj destek açıklığı, $d-d_1$: Sıra derinliği, b : Panel genişliği, h : montaj yüksekliği, γ : Güneş yükselme açısını temsil etmektedir [22].

Tablo 3.2. Güneş paneli montaj değerleri [22].

Panel Markası	Güneş Panellerinin Montaj Değerleri			
	Jinko Solar	Canadian Solar	Trina Solar	Yingli Solar
Modül Kurulumu	Yatay	Yatay	Yatay	Yatay
Modül Aralığı – yatay (w_1) (m)	0,005	0,005	0,005	0,005
Modül Aralığı – dikey (w_2) (m)	0,005	0,005	0,005	0,005
Alt Kenar Yüksekliği (h_1) (m)	0,3	0,3	0,3	0,3
Montaj açısı β_r	30,5	30,5	30,5	30,5
Montaj yüzeyinin eğimi β_1	6,5	6,5	6,5	6,5
Toplam açı	37	37	37	37
Montaj yüzeyinin yönü α_r	180	180	180	180
Satır aralığı (d) (m)	1,855	1,846	1,855	1,853
Montaj destek açıklığı (d_1) (m)	1	1	1	1
Sıra derinliği ($d-d_1$) (m)	0,855	0,846	0,855	0,853
Alan kullanım oranı	0,535	0,532	0,535	0,534
Modül montaj genişliği (b) (m)	0,992	0,982	0,992	0,99
Montaj yüksekliği (h) (m)	0,504	0,499	0,504	0,503
Güneş yükselme açısı (γ)	25,51 Çakmaklı için	25,51 Çakmaklı için	25,51 Çakmaklı için	25,51

Güneş panelinden en üst seviyedeki çıkışı sağlamak ve panelin yüksek seviyede güneşlenmesine maruz kalabilmesi amacıyla PV*SOL analiz programı 4 farklı güneş panelinin santral sahasındaki maksimum verimlilikte çalışabilmesi için ve panellerin birbirini üzerine gölgelenme etkisi minimum derecede olacak şekilde yerleşimlerini yaparak santral sahasına panellerin montajını yapmaktadır.

Tablo 3.2.'de tasarımcının belirleyeceği değerler; Santral sahası açısı β_1 :6,5° olarak, panel eğimi β_r :30,5° olarak (Bölüm 4'te açıklanmaktadır), montaj yüzeyinin yönü α_r :180° olarak belirlenmiştir. Diğer değerleri PV*SOL analiz programı Bölüm 3.3.1'de belirtilen panel boyutlarına göre belirlemektedir.

3.3.3. Güneş panellerinin standart test koşullarındaki özellikleri

Güneş panellerinin standart test koşulları (25°C panel sıcaklığı, 1000 W/m² ışınım) altında akım ve gerilim değerleri Tablo 3.3.'te görülmekte olup tablodaki her başlık alt başlıklarda açıklanmıştır [22].

Tablo 3.3. Standart test koşullarında akım ve gerilim özellikleri [22].

Standart Test Koşullarında Akım ve Gerilim Özellikleri				
Panel Markası	Jinko Solar	Canadian Solar	Trina Solar	Yingli Solar
Voltaj (V)	37	36,4	36,6	36,3
Akım (A)	8,38	8,52	8,2	8,53
Güç (W)	310	310	300	310
Verim (%)	15,98	16,16	15,47	15,88

Maksimum güç noktası, panelin güç çıkışının azami olduğu çalışma noktasıdır. Maksimum güç noktası gerilimi ve maksimum güç noktası akımı sadece standart test koşulları 25°C panel sıcaklığı, 1000 W/m² ışınım için geçerlidir. Bu noktada panelden çekilen güç denklemde (Denklem 3.1) belirtilmiştir.

$$P_{\text{mak}} : I_{\text{mak}} * V_{\text{mak}} \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir. Dolayısıyla bu noktada çalışma durumunda panelden alınan verim de maksimum olacaktır [24]. PV*SOL analiz programı veritabanından oluşturulan Tablo 3.3.'e göre;

Jinko Solar güneş panelinin standart test koşullarında (25°C sıcaklık 1000 W/m² ışınım) gücü 310 W, akımın 8,38 A, gerilimin ise 37 V olduğu görülmektedir.

Canadian Solar güneş panelinin standart test koşullarında (25°C sıcaklık 1000 W/m² ışınım) gücü 310 W, akımın 8,52 A, gerilimin ise 36,4 V olduğu görülmektedir.

Trina Solar güneş panelinin standart test koşullarında (25°C sıcaklık 1000 W/m² ışınım) gücü 300 W, akımın 8,2 A, gerilimin ise 36,6 V olduğu görülmektedir.

Yingli Solar güneş panelinin standart test koşullarında (25°C sıcaklık 1000 W/m² ışınım) gücü 310 W, akımın 8,53 A, gerilimin ise 36,3 V olduğu görülmektedir.

Standart test koşullarında panel verimliliği için aşağıdaki denklem (Denklem 3.2) kullanır [22]:

$$\text{Güç Derecesi (STC)} = 1000 \text{ W / m}^2 * \eta \text{ (STC)} * \text{Aktif Güneş Yüzeyi} \quad (3.2)$$

η = Verim, STC = Standart test koşulları (25°C panel sıcaklığı, 1000 W/m² ışınım)
Aktif güneş yüzeyi Tablo 3.1.'de 4 farklı panel içinde belirtilmiştir.

Jinko Solar için;

$$\eta \text{ (STC)} = (310 / (1000 * 1,94)) = \%15,98 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Canadian Solar için;

$$\eta \text{ (STC)} = (310 / (1000 * 1,92)) = \%16,16 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

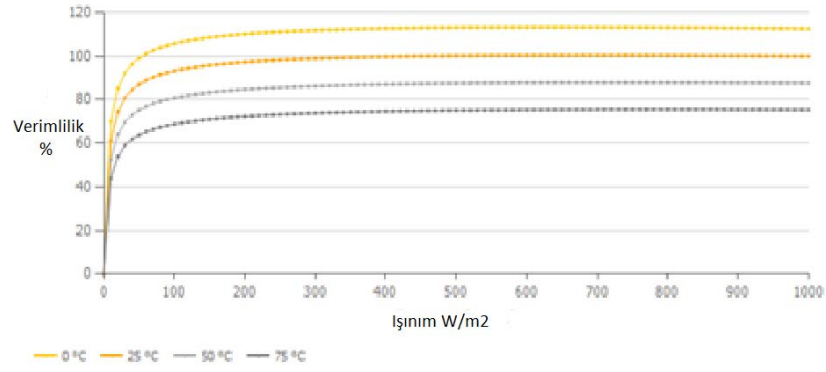
Trina Solar için;

$$\eta \text{ (STC)} = (300 / (1000 * 1,94)) = \%15,47 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Yingli Solar için;

$$\eta \text{ (STC)} = (310 / (1000 * 1,95)) = \%15,88 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Şekil 3.2.'de farklı güneş panelinin ışınım ve verimlilikleri farklı sıcaklık değerlerinde incelenmiştir. Verimliliğin sıcaklık ile ters orantılı olduğu görülmektedir. 75 °C sıcaklığındaki verim değerleri ışınımına göre % 60-80 arasında, 50 °C sıcaklığındaki verim değerleri ışınımına göre % 80-90 arasında, 25 °C sıcaklığındaki verim değerleri ışınımına göre % 90-100 arasında değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3.2. Verimlilik-ışınım grafiği [22].

Standart test koşullarında (25°C panel sıcaklığı, 1000 W/m² ışınım) ise verimim % 100 olduğu görülmektedir. Sıcaklık azaldıkça verimlilik değerlerinde artmalar olduğu gözlemlenmektedir [22].

3.4. Sistemlerde Kullanılan Eviricilerin Özellikleri

Güneş enerji sistemleri için eviriciler, bir vücudun kalbi kadar önemli görülmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinin içinde kullanılan şebekeyle aynı doğrultuda işleyen eviriciler, kendi çıkış frekans ve gerilimlerini şebekeden gelen frekans ve gerilim düzeylerine uyumlayarak şebekeyle paralel bir şekilde çalışmaktadır. Bu durumun neticesinde bağlı buldukları elektrik hattına güneş panellerinden gelen enerjiyi iletebilirler. Güneş enerji santrali tasarımında SMA ve ABB markaları olmak üzere 2 farklı evirici markası kullanılmıştır.

Güneş panellerinde üretilen DC akımının eviriciler ile AC akımına çevrilerek direkt olarak şebeke sistemine aktarılması gerekmektedir. Bu yüzden seçilen eviriciler şebeke bağlantılı (on-grid) evirici olarak seçilmiştir.

Seçilen eviricilerin yapısı, güneş enerjisi sistemlerinde uzun yıllardır kullanılan, eviriciler içinde trafo bulunması sebebiyle galvanik olarak alternatif akım ünitesi ile doğru akım ünitesi arasındaki izolasyonu sağlayan ve elektromanyetik etkilerden koruma sınıfları maksimum düzeyde olan trafolu evirici tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra eviricilerin içerisinde yer alan trafoya ait kayıplardan dolayı bu tür eviricilerin

doğru akımı alternatif akıma çevirme verimliliklerinin daha düşük seviyede olduğu belirlenmiştir [25].

Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) bir güneş panelinden en yüksek seviyede enerji eldesi için kilit role sahip olan teknoloji çeşididir. Güneş panelinin çıkış gerilimi, çıkış akımı ve çıkış gücünün matematiksel bir ürünüdür. Güneşten gelen ışınlar gün içerisinde yeryüzüne farklı açılarla düşmektedir. Bu durumun neticesinde solar panel (fotovoltaik hücrelerin) tarafından absorbe edilen ışın miktarında da değişiklik olacağı için panellerden sağlanan enerjide her zaman aralığı içinde farklılık görülecektir. Ancak sistemin doğru işleme için, azalıp artarak düzensizlik gösteren bir güç kazanımı yüke doğrudan aktarılmaz. Güce ait bu değerlerin evirilerek verimli ve düzenli bir seviyeye taşınması gerekir. MPPT de tam bu esnada işleme başlar. Farklı vakit aralıkları içinde ortaya çıkan farklı güç değerlerinin maksimum anlarını saptayarak işlemler dizisini başlatan MPPT, tüm bu işlemleri içerisindeki mikro denetleyicinin kompleks algoritmaları aracılığıyla gerçekleştirebilir [22].

BÖLÜM 4. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

4.1. Karşılaştırılan Sistemler

Çalışmamızda PV*SOL programının verilerinden yararlanılacak olup ekonomik analizler programın sağladığı sonuçlar esas alınarak yapılacaktır. Çalışmamız dâhilinde analizi yapılacak sistemler aşağıda sunulmuştur. Belirlenen güneş enerji panel ve evirici markaları piyasada kolay bulunabilen ve teknik servis ağının gelişmiş sebeplerinden dolayı tercih edilmiştir.

A grubu: Jinko Solar güneş paneli ve SMA Sunny Tripower evirici

B grubu: Jinko Solar güneş paneli ve ABB evirici

C grubu: Canadian Solar güneş paneli ve SMA Sunny Tripower evirici

Ç grubu: Canadian Solar güneş paneli ve ABB evirici

D grubu: Trina Solar güneş paneli ve SMA Sunny Tripower evirici

E grubu: Trina Solar güneş paneli ve ABB evirici

F grubu: Yingli Solar güneş paneli ve SMA Sunny Tripower evirici

G grubu: Yingli Solar güneş paneli ve ABB evirici

4.2. Güneş Panellerinin Tasarımı

Güneş enerji santrali 5 farklı etapta incelenecektir. Her etapta 4 farklı güneş paneli 2 farklı evirici ile ayrı ayrı incelenecektir. Güneş panellerinin teknik özellikleri farklı olduğu için etaplardaki montaj değerleri de her panel markası için farklı olacaktır.

4.2.1. Jinko Solar güneş paneli (A ve B grubu)

1. etap proje alanında 2733 adet 310 W gücünde Jinko Solar (JKM310P-72) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 124 tür. Toplam dizi gücü 38,44 kWp olup genişliği 243,161 m ve toplam panel alanı 5303 m² dir.

2. etap proje alanında 3894 adet 310 W gücünde Jinko Solar (JKM310P-72) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 177 tür. Toplam gücü 54,87 kWp olup genişliği 347,094 m ve toplam panel alanı 7555,7 m² dir.

3. etap proje alanında 3872 adet 310 W gücünde Jinko Solar (JKM310P-72) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 176 adettir. Toplam gücü 54,56kWp olup genişliği 345,133 m ve toplam panel alanı 7513 m² dir.

4. etap proje alanında 4183 adet 310 W gücünde Jinko Solar (JKM310P-72) güneş paneli kullanılmıştır. 24 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı ortalama 174 adettir. Toplam gücü ortalama 54,56 kWp olup genişliği ortalama 345 m ve toplam panel alanı 8116,5 m² dir.

5. etap proje alanında 4383 adet 310 W gücünde Jinko Solar (JKM310P-72) güneş paneli kullanılmıştır. 28 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı en çok 167 en az 146 adettir. Toplam gücü en çok 51,77 kWp en az 45,26 kWp dir. Genişliği en çok 327,484 m en az 286,303 m olup toplam panel alanı 8504,6 m² dir.

4.2.2. Canadian Solar güneş paneli (C ve Ç grubu)

1. etap proje alanında 2768 adet 310 W gücünde Canadian Solar (CS6X-310P) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 125

tir. Toplam dizi gücü 38,75 kWp olup genişliği 244,872 m ve toplam panel alanı 5311,3 m² dir.

2. etap proje alanında 3894 adet 310 W gücünde Canadian Solar (CS6X-310P) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 177 dir. Toplam gücü 54,87 kWp olup genişliği 346,740 m ve toplam panel alanı 7.471,9 m² dir.

3. etap proje alanında 3872 adet 310 W gücünde Canadian Solar (CS6X-310P) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 176 adettir. Toplam gücü 54,56 kWp olup genişliği 344,781 m ve toplam panel alanı 7513 m² dir.

4. etap proje alanında 4186 adet 310 W gücünde Canadian Solar (CS6X-310P) güneş paneli kullanılmıştır. 24 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı ortalama en fazla 174 adet en az 169 adettir. Dizi toplam gücü ortalama en fazla 54,56 kWp, en az 52,39 kWp dir. Dizi genişliği en fazla 344,781 m, en az 331,068 m olup toplam panel alanı 8032,2 m² dir.

5. etap proje alanında 4388 adet 310 W gücünde Canadian Solar (CS6X-310P) güneş paneli kullanılmıştır. 28 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı en çok 167 en az 146 adettir. Toplam gücü en çok 51,77 kWp en az 45,26 kWp dir. Genişliği en çok 327,150 m en az 286,011 m olup toplam panel alanı 8419,8 m² dir.

4.2.3. Trina Solar güneş paneli (D ve E grubu)

1. etap proje alanında 2480 adet 300 W gücünde Trina Solar (SM-PC14A) güneş paneli kullanılmıştır. 20 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 124 tir. Toplam dizi gücü 37,2 kWp olup genişliği 243,161 m ve toplam panel alanı 4812,1 m² dir.

2. etap proje alanında 3894 adet 300 W gücünde Trina Solar (SM-PC14A) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 177 dir. Toplam gücü 53,1 kWp olup genişliği 347,094 m ve toplam panel alanı 7.555,7 m² dir.

3. etap proje alanında 3872 adet 310 W gücünde Trina Solar (SM-PC14A) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 176 adettir. Toplam gücü 52,8 kWp olup genişliği 345,133 m ve toplam panel alanı 7513 m² dir.

4. etap proje alanında 4183 adet 300 W gücünde Trina Solar (SM-PC14A) güneş paneli kullanılmıştır. 24 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı ortalama en fazla 176 adet en az 168 adettir. Dizi toplam gücü ortalama en fazla 52,8 kWp, en az 50,4 kWp dir. Dizi genişliği en fazla 345,133 m, en az 329,445 m olup toplam panel alanı 8116,5 m² dir.

5. etap proje alanında 4378 adet 300 W gücünde Trina Solar (SM-PC14A) güneş paneli kullanılmıştır. 28 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı en çok 167 en az 146 adettir. Toplam gücü en çok 50,1 kWp en az 43,8 kWp dir. Genişliği en çok 327,484 m en az 286,303 m olup toplam panel alanı 8494,9 m² dir.

4.2.4. Yingli Solar güneş paneli (F ve G grubu)

1. etap proje alanında 2728 adet 310 W gücünde Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 124 tür. Toplam dizi gücü 38,44 kWp olup genişliği 244,897 m ve toplam panel alanı 5320,4 m² dir.

2. etap proje alanında 3850 adet 310 W gücünde Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 175 tür. Toplam dizi gücü 54,25 kWp olup genişliği 345,622 m ve toplam panel alanı 7.508,7 m² dir.

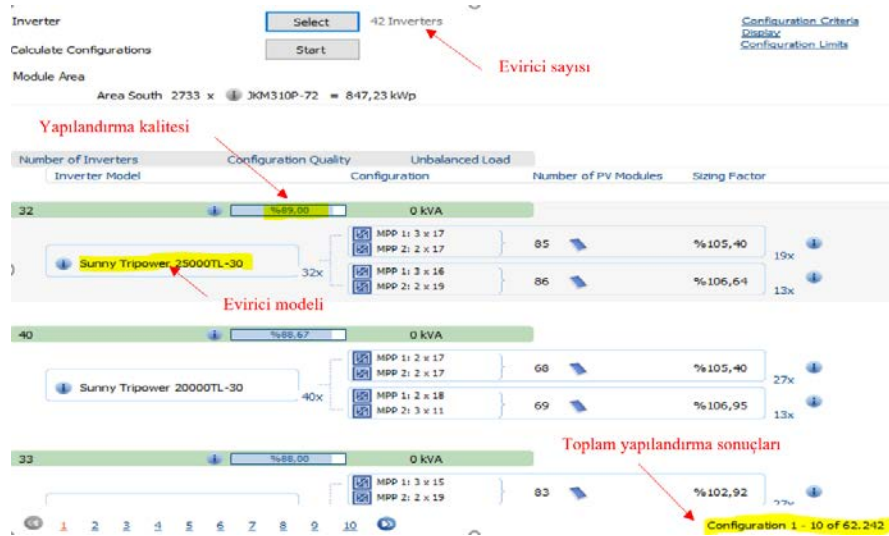
3. etap proje alanında 3850 adet 310 W gücünde Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) güneş paneli kullanılmıştır. 22 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı 175 tir. Toplam dizi gücü 54,25 kWp olup genişliği 345,622 m ve toplam panel alanı 7508,7 m² dir.

4. etap proje alanında 4157 adet 310 W gücünde Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) güneş paneli kullanılmıştır. 24 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı ortalama en fazla 175 adet en az 167 adettir. Dizi toplam gücü ortalama en fazla 54,25 kWp, en az 51,77 kWp dir. Dizi genişliği en fazla 345,622 m, en az 329,822 m olup toplam panel alanı 8107,4 m² dir.

5. etap proje alanında 4347 adet 310 W gücünde Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) güneş paneli kullanılmıştır. 28 sıra panel dizisi olup her bir dizideki yatay panel sayısı en çok 165 en az 145 adettir. Toplam gücü en çok 51,15 kWp en az 44,95 kWp dir. Genişliği en çok 325,872 m en az 286,372 m olup toplam panel alanı 8478 m² dir.

4.3 Eviricilerin Seçimi ve Detayları

PV*SOL analiz programında güneş paneli tanımlandıktan ve yerleşim yapıldıktan sonra evirici seçimi yapılmaktadır. Evirici markası olarak Sunny Tripower ve ABB kullanılmıştır. Ancak evirici tipini belirleyebilmemiz için PV*SOL programındaki tüm Sunny Tripower eviricileri (42 adet) ve ABB eviricileri (10 adet) seçilip tüm etaplardaki güneş panelleri ile yapılandırması sağlanarak Şekil 4.1.'deki gibi sonuçlar oluşarak yapılandırma kalitesi en iyi evirici modeli sistemi tespit edilecektir [22].



Şekil 4.1. Eviricilerin yapılandırma seçimi ara yüzü [22].

4.3.1. A grubu evirici seçimi ve detayları

1. etapta 42 adet farklı SMA Solar evirici, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 62.242 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 89 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 2733 adet panel için 32 (19+13) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 32 adet eviricinin 19 adeti 1615 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 969 adet panel 1. MPP izleyicisine, 646 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 32 adet eviricinin 13 adeti 1118 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 624 adet panel 1. MPP izleyicisine, 494 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

2. etapta 42 adet farklı SMA Solar evirici, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 107.807 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 20000TL-30 (20kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3894 adet panel için 59 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 59 adet 3894 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1947 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1947 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

3. etapta 42 adet farklı SMA Solar evirici, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 105.166 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 92,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3872 adet panel için 44 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 44 adet 3872 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2376 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1496 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4. etapta 42 adet farklı SMA Solar evirici, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 83.152 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 91,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4183 adet panel için 47 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 47 adet 4183 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2397 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1786 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

5. etapta 42 adet farklı SMA Solar evirici, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 105.490 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 89 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4383 adet panel için 52 (37+15) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 52 adet eviricinin 37 adeti 3108 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1554 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1554 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 52 adet eviricinin 15 adeti 1275 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 765 adet panel 1. MPP izleyicisine, 510 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4.3.2. B grubu evirici seçimi ve detayları

1. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 1.741 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 88,67 olan yapılandırma seçilmiştir.

Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 2733 adet panel için 8 (5+3) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 8 adet eviricinin 5 adeti 1725 adet panel ile bağlantılı olup, bunların hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 8 adet eviricinin 3 adeti 1008 adet panel ile bağlantılı olup, bunların hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

2. etapta 10 adet farklı ABB evirici, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 4.349 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 87 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3894 adet panel için 12 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 11 adet evirici 3564 adet panel ile bağlantılı olup, bunların hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 1 adet evirici 330 adet panel ile bağlantılı olup, bunların hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

3. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 4.270 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3872 adet panel için 11 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 11 adet evirici 3872 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4. etapta 10 adet farklı ABB eviricisi, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.258 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 88,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0250kW-A (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4183 adet panel için 5(4+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 4 adet evirici 3328 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 1 adet evirici 855 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

5. etapta 10 adet farklı ABB eviricisi, Jinko Solar (JKM310P-72) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.825 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 88,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0630kW-B evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4383 adet panel için 2 (1+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 2 adet eviricinin 1 adeti 2223 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 2 adet eviricinin 1 adeti 2160 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4.3.3 C grubu evirici seçimi ve detayları

1. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 71.212 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 89 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 2733 adet panel için 33 (29+4) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 33 adet eviricinin 29 adeti 2436 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1218 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1218 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 33 adet eviricinin 4 adeti 332 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 180 adet panel 1. MPP izleyicisine, 152 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

2. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 103.668 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 20000TL-30 (20kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3894 adet panel için 59 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 59 adet 3894 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1947 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1947 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

3. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 101.535 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu

sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 92,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3872 adet panel için 44 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 44 adet 3872 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2376 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1496 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 105.828 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 90 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4186 adet panel için 46 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 46 adet evirici 4186 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2622 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1564 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

5. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 10112.338 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 89 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4388 adet panel için 52 (32+20) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 52 adet eviricinin 32 adeti 2688 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1344 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1344 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 52 adet eviricinin 20 adeti 1690 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1010 adet panel 1. MPP izleyicisine, 680 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4.3.4. Ç grubu evirici seçimi ve detayları

1. etapta 10 adet farklı ABB Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.071 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 87,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 2768 adet panel için 8 (4+4) adet evirici bağlantısı

oluşmuştur. 8 adet eviricinin 4 adeti 1408 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 8 adet eviricinin 4 adeti 1360 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

2. etapta 10 adet farklı ABB Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.761 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 85 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0250kW-A (250kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3894 adet panel için 5(3+2) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 5 adet eviricinin 3 adeti 2346 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 5 adet eviricinin 2 adeti 1548 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

3. etapta 10 adet farklı ABB Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 3.030 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3872 adet panel için 11 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 11 adet evirici 3872 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4. etapta 10 adet farklı ABB Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.379 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 85 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0250kW-A (250kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4186 adet panel için 5 (4+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 4 adet evirici 3312 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 1 adet evirici 874 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

5. etapta 10 adet farklı ABB Solar eviricisinin, Canadian Solar (CS6X-310P) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 3.044 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu

sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4388 adet panel için 13 (8+5) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 13 adet eviricinin 8 adeti 2688 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 8 adet eviricinin 5 adeti 1700 adet panel ile bağlantılı olup, hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4.3.5. D grubu evirici seçimi ve detayları

1. etapta 40 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 68.987 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 88,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 2480 adet panel için 28 (16+12) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 28 adet eviricinin 16 adeti 1424 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 720 adet panel 1. MPP izleyicisine, 704 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 28 adet eviricinin 12 adeti 1056 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 528 adet panel 1. MPP izleyicisine, 528 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

2. etapta 40 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 112.482 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 88,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3894 adet panel için 44 (22+22) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 22 adet evirici 1958 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 990 adet panel 1. MPP izleyicisine, 968 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

3. etapta 40 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 100.321 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 94,33 olan yapılandırma seçilmiştir.

Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3872 adet panel için 44 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 44 adet 3872 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1936 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1936 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4. etapta 40 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 82.412 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. 47 adet evirici 4183 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2115 adet panel 1. MPP izleyicisine, 2068 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

5. etapta 40 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 110.877 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 88,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4378 adet panel için 50 (28+22) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 50 adet eviricinin 28 adeti 2464 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1232 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1232 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4.3.6. E grubu evirici seçimi ve detayları

1. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.456 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 89 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 2480 adet panel için 7(5+2) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 7 adet eviricinin 5 adeti 1760 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 7 adet eviricinin 2 adeti 720 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine, bağlanmıştır.

2. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 4.464 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 87,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3894 adet panel için 11 (10+1)adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 10 adet evirici 3520 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 1 adet evirici 374 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

3. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 4.527 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 95,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3872 adet panel için 11 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 11 adet 3872 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.532 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 87 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0250kW-A (250kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4183 adet panel için 5(4+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 4 adet evirici 3328 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 1 adet evirici 855 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

5. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Trina Solar (SM-PC14A) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 4.322 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 91 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0250kW-A (250kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4378 adet panel için 5 (4+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 5 adet eviricinin 4 adeti 3496 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP

izleyicisine bağlanmıştır. 5 adet eviricinin 1 adeti 882 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine, bağlanmıştır.

4.3.7. F grubu evirici seçimi ve detayları

1. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 71.633 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 92,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 2728 adet panel için 31 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 31 adet evirici 2728 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 1674 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1054 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

2. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 106,674 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 15000TL-10 (15kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3850 adet panel için 77 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 77 adet evirici 3850 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2464 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1386 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

3. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 106,674 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 15000TL-10 (15kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3850 adet panel için 77 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 77 adet evirici 3850 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2464 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1386 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 81.396 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 89,33 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 25000TL-30 (25kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4157 adet panel için 49 (41+8) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 41 adet evirici 3485 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2091 adet panel 1. MPP izleyicisine, 1394 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 8 adet evirici 672 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 336 adet panel 1. MPP izleyicisine, 336 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

5. etapta 42 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 105.884 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 93,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada SMA Solar markasının Sunny Tripower 20000TL-30 (20kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4347 adet panel için 63 adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 63 adet evirici 4347 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan 2268 adet panel 1. MPP izleyicisine, 2079 adet panel ise 2. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4.3.8. G grubu evirici seçimi ve detayları

1. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 1.800 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 90 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 2728 adet panel için 8 (4+4) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 4 adet evirici 1368 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 4 adet evirici 1360 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

2. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.176 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu

sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 83,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3850 adet panel için 4(3+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 3 adet evirici 2862 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 1 adet evirici 988 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

3. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 2.176 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 83,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 3850 adet panel için 4(3+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 3 adet evirici 2862 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 1 adet evirici 988 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4. etapta 10 adet farklı SMA Solar eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 1.360 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 87,67 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4157 adet panel için 2 (1+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 1 adet evirici 2124 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır. 1 adet evirici 2033 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

5. etapta 10 adet farklı ABB eviricisinin, Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) ile yapılandırılması yapılarak analizlerde 1.851 ayrı sonuç oluşturmuştur. Tüm bu sonuçlardaki toplam yapılandırma kalitesi % 90 olan yapılandırma seçilmiştir. Seçilen yapılandırmada ABB markasının PVS800-57-0100kW-A (100kW) evirici tipi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında 4347 adet panel için 4 (3+1) adet evirici bağlantısı oluşmuştur. 3 adet evirici 3249 adet panel ile bağlantılı olup, bunlardan hepsi 1. MPP izleyicisine bağlanmıştır.

4.4. Güneş Panellerinin Eğimi, Yönü ve Gölgeleme Analizi

Güneş panellerinin maksimum şartta güneş ışınlarından faydalanabilmesi için uygun bir açı ile eğimleri sağlanabilmelidir.

Optimum açının sağlanması için aşağıda sunulan kuralların dikkate alınması gerekir;

$$1. \text{ Yıllık verim optimizasyonu: } \beta = 0,9 \times \text{enlem} \quad (4.1)$$

$$2. \text{ Kışın 7 ayında verim optimizasyonu: } \beta = \text{enlem} + 15^\circ \quad (4.2)$$

$$3. \text{ Kış mevsiminin en soğuk üç ayında optimum verim : } \beta = \text{enlem} + 25^\circ \quad (4.3)$$

$$4. \text{ Yaz mevsimi içinde optimum verim: } \beta = \text{enlem} - 25^\circ \quad (4.4)$$

$\beta = \text{Eğim}$

olup bu yüksek lisans tezinde 1. maddedeki (Denklemler 4.1) yıllık optimum verim için öngörülen formül kullanılması öngörülmüştür [26]

Santral sahasının; Enlem: 41° Boylam: 28° dir.

$\beta = 0,9 \times 41^\circ = 36,9^\circ \approx 37^\circ$ olarak belirlenmiştir ve sistem bu şekilde tasarlanacaktır.

Güneş enerji santrali sahası % 6,5 eğimli olduğu için güneş enerji panelleri % 30,5 eğimli olacağı ve 180° güney yönüne doğru kurulacağı kabul edilmiştir.

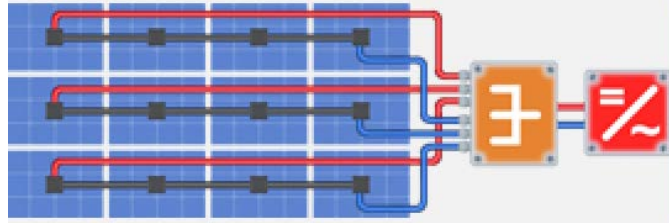
Tablo 4.1. Tüm grup ve etapların gölgeleme zararı [22].

GRUP	GÖLGELENME ZARARI (%/YIL)
A (JINKO SOLAR)	0,52
B (JINKO SOLAR)	0,52
C (CANADIAN SOLAR)	0,57
Ç (CANADIAN SOLAR)	0,57
D (TRINA SOLAR)	0,39
E (TRINA SOLAR)	0,39
F (YINGLI SOLAR)	0,12
G (YINGLI SOLAR)	0,12

PV*SOL analiz programında gölgeleme frekansı dağılımı panel yapılandırılmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Gölgeleme, dizi karakteristiği üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu için panellerin optimum yapılıncasını belirleyici olarak etkiler. Etap alanındaki her panel için ışımaya oranı düşümü yıllık

ortalama olarak hesaplanır. Program tarafından tüm grup ve etapların gölgelemeden dolayı oluşan zararlar Tablo 4.1.'de belirlenmiştir [22].

4.5. Kablolama



Şekil 4.2. Panel ve eviricilerin kablolama bağlantısı [22].

Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere bir veya birkaç birleştirici kutu ile kablolama yapılır. Panel dizileri, eviriciye paralel bağlanacağı öngörülerek tasarlanacaktır.

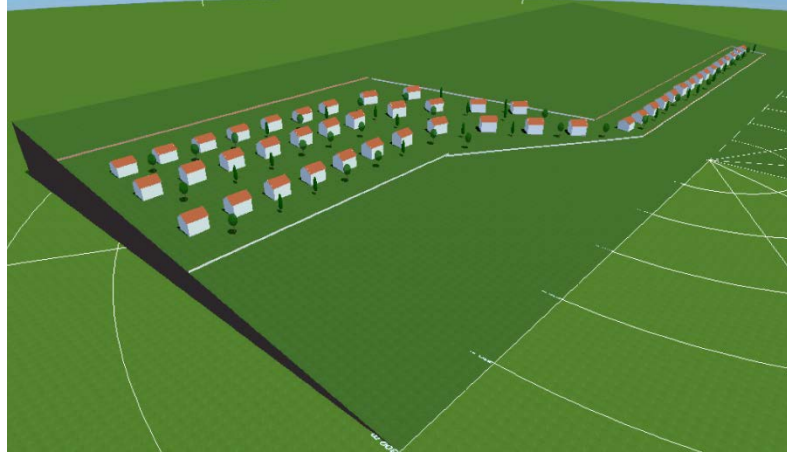
Kablolama sırası, hedef düğüme en kısa kablo uzunluğunu elde etme amacı ile belirlenir. Kablolar, paneller altına yerleştirilen bir veya daha fazla paket içinde montaj profilleri boyunca dik açıyla yerleştirilir [22]. Tasarlanan güneş enerji santralinde kullanılacak kabloların kesitleri ve metrajları kablo seçim cetvelinden seçilerek Tablo 4.2.'de belirtilmiştir [27].

Tablo 4.2. Kablo kesitleri [27].

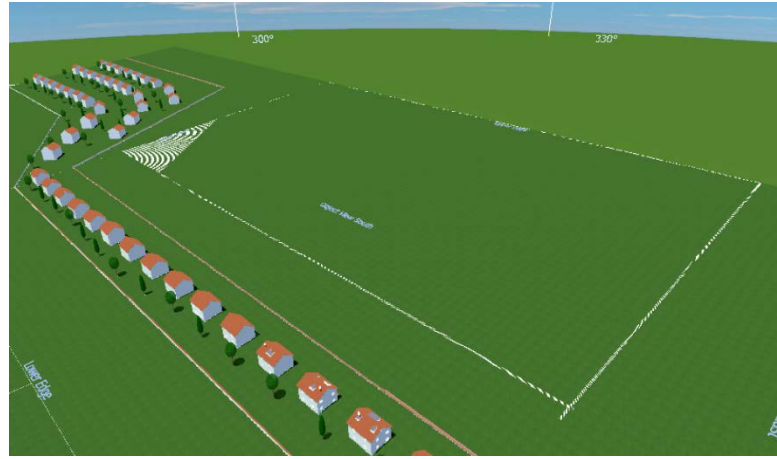
KABLO KESİT HESABI						
KABLO KESİT (mm ²)	KABLO UZUNLUĞU (m)					TOPLAM
	1.ETAP	2.ETAP	3.ETAP	4. ETAP	5. ETAP	
1,5	1724,8	1724,8	1724,8	1724,8	2351,8	9251,0
2,5	862,4	862,4	862,4	862,4	1176,4	4626,0
4	862,4	862,4	862,4	862,4	1176,4	4626,0
6	862,4	862,4	862,4	862,4	1176,4	4626,0
10	1078,0	1724,8	1724,8	1724,8	2352,6	8605,0
16	-	1293,6	1293,6	1293,6	1764,2	5645,0
25	-	308,0	308,0	308,0	56,0	980,0

4.6. Güneş Santrali Tasarım Görüntüleri

PV*SOL programında simülasyonu yapılan santral sahasının genel ve etapların görüntüleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.22. arasında gösterilmiştir.



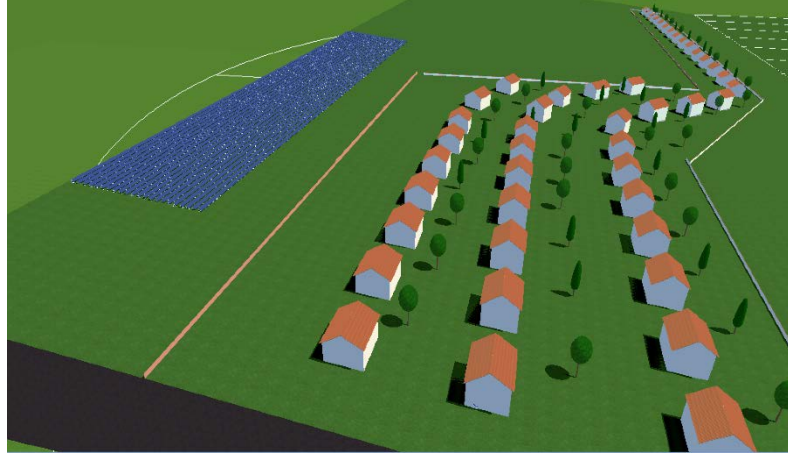
Şekil 4.3. Santral sahası-1 [22].



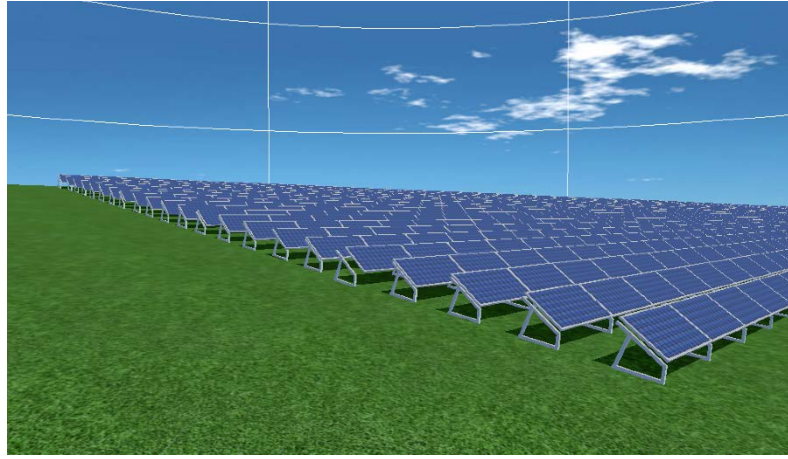
Şekil 4.4. Santral sahası-2 [22].



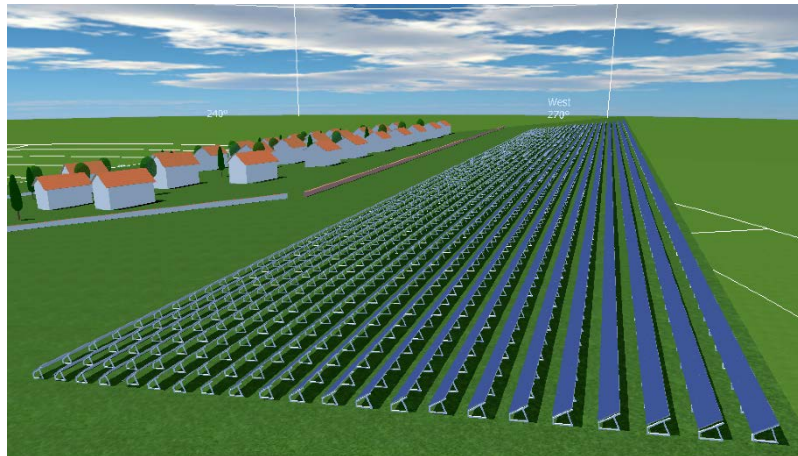
Şekil 4.5. Santral sahası-3 [22].



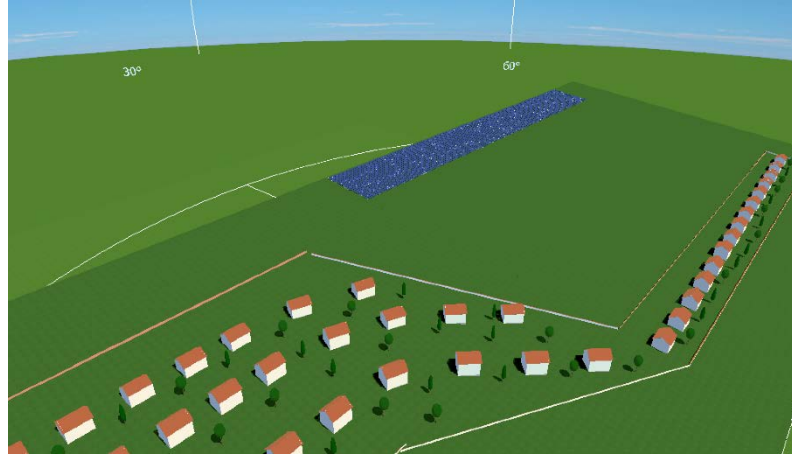
Şekil 4.6. Santral sahası 1. Etap [22].



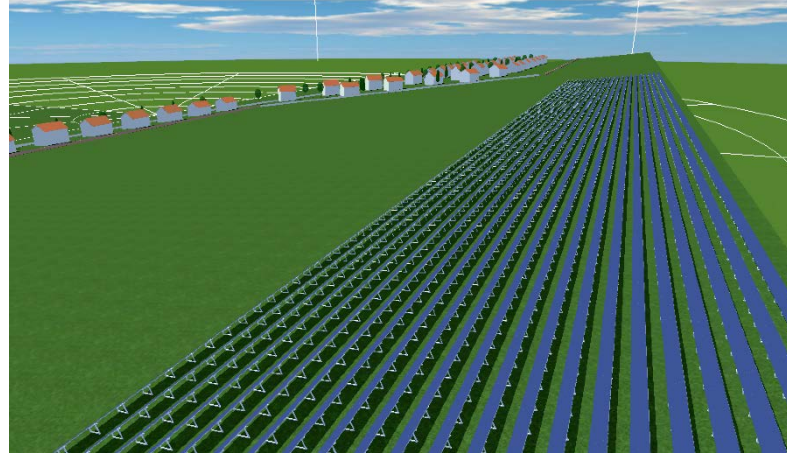
Şekil 4.7. Santral sahası 1. Etap [22].



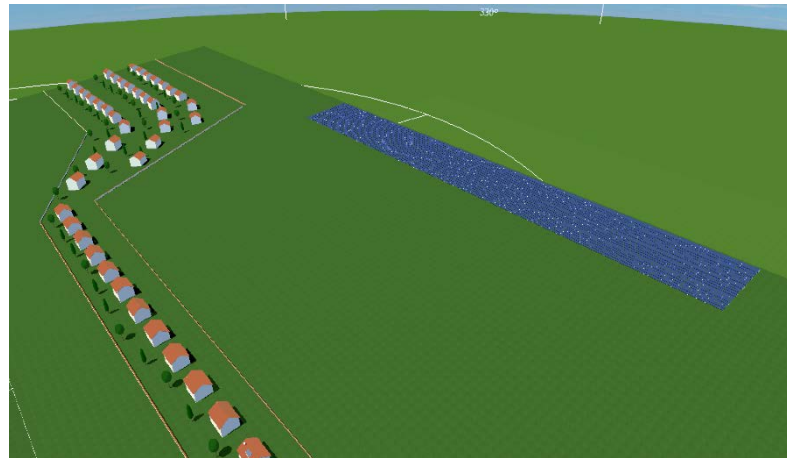
Şekil 4.8. Santral sahası 1. Etap [22].



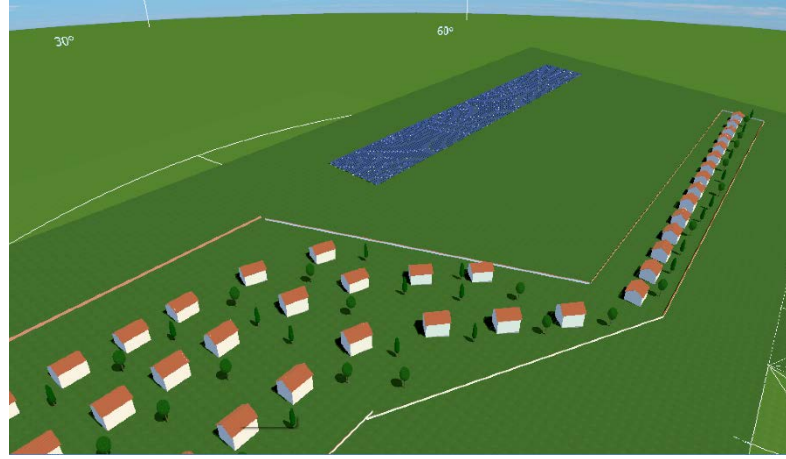
Şekil 4.9. Santral sahası 2. Etap [22].



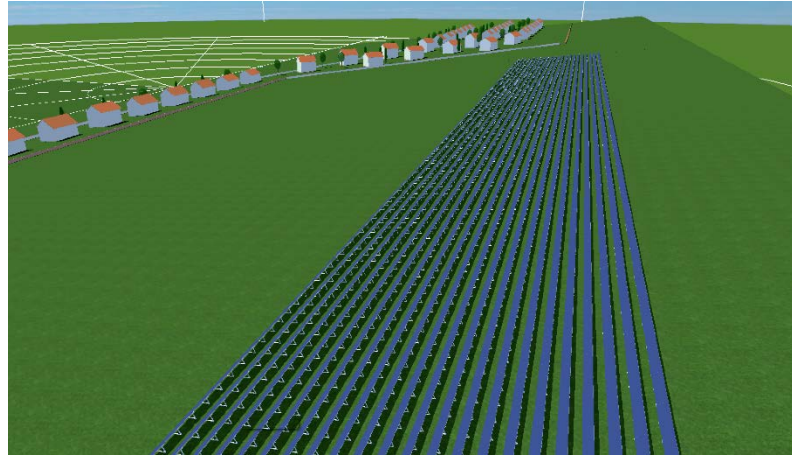
Şekil 4.10. Santral sahası 2. Etap [22].



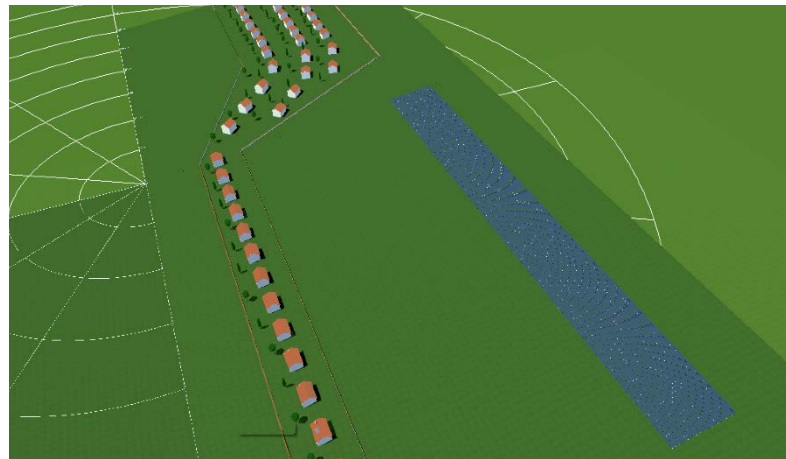
Şekil 4.11. Santral sahası 2. Etap [22].



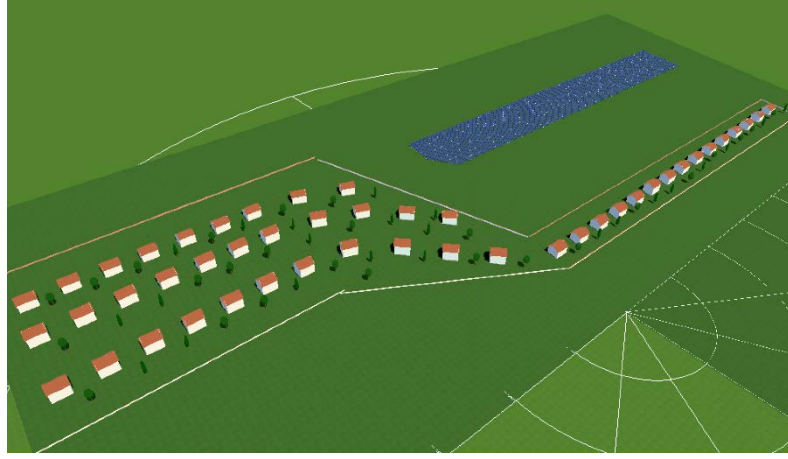
Şekil 4.12. Santral sahası 3. Etap [22].



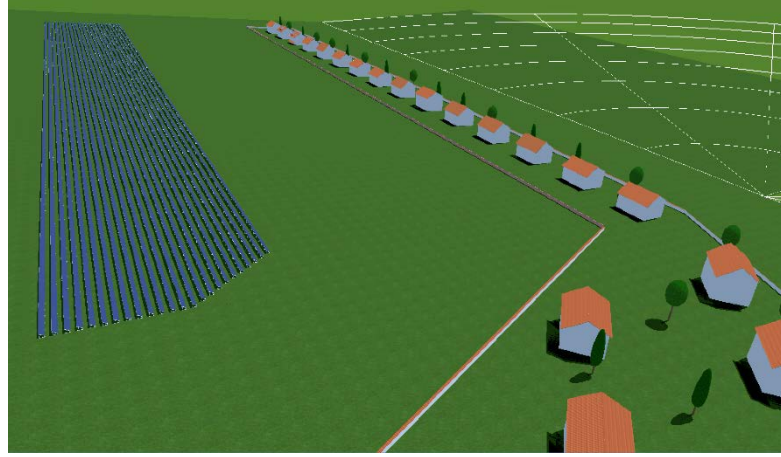
Şekil 4.13. Santral sahası 3. Etap [22].



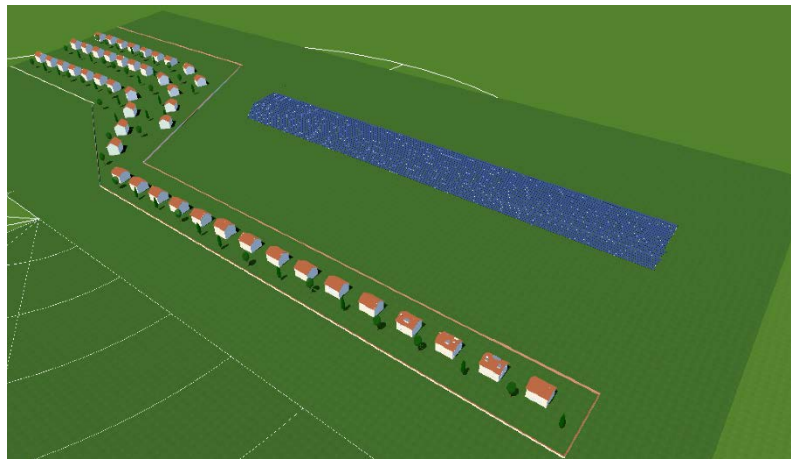
Şekil 4.14. Santral sahası 3. Etap [22].



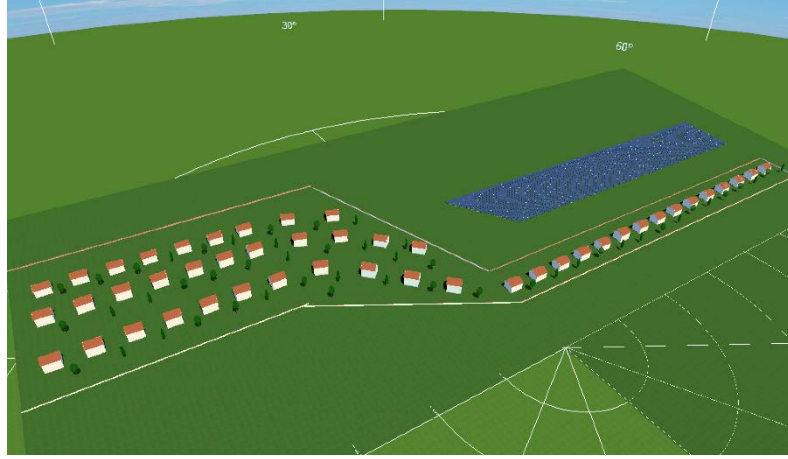
Şekil 4.15. Santral sahası 4. Etap [22].



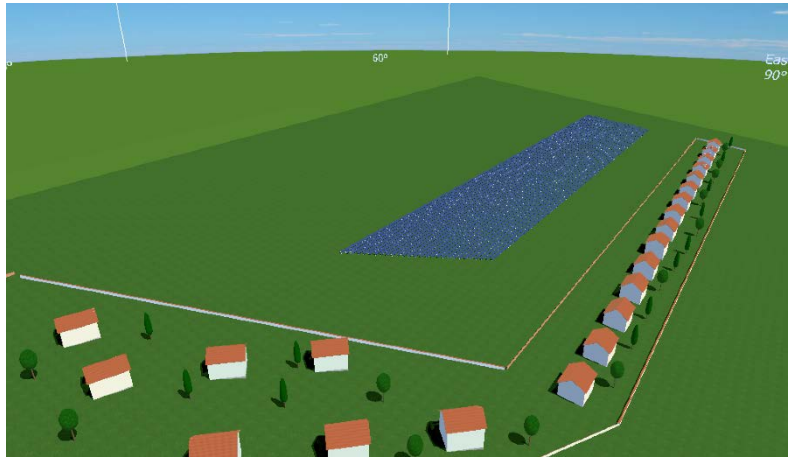
Şekil 4.16. Santral sahası 4. Etap [22].



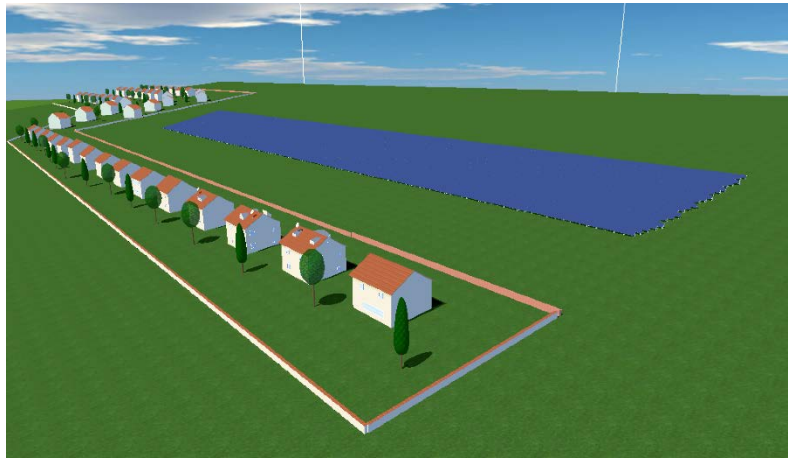
Şekil 4.17. Santral sahası 4. Etap [22].



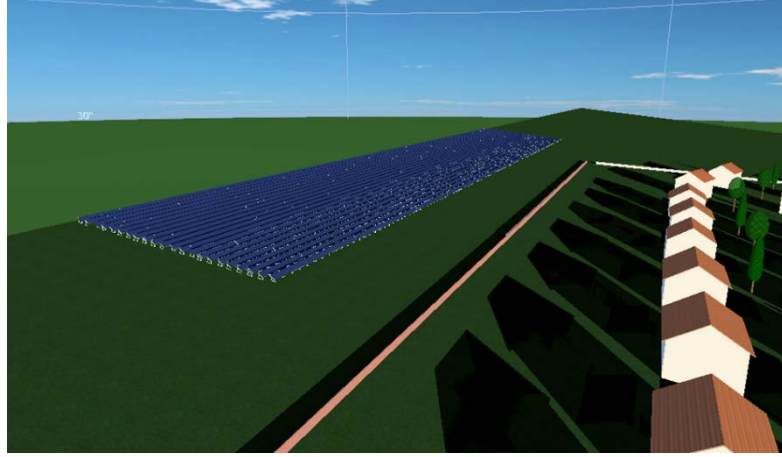
Şkil 4.18. Santral sahası 5. Etap [22].



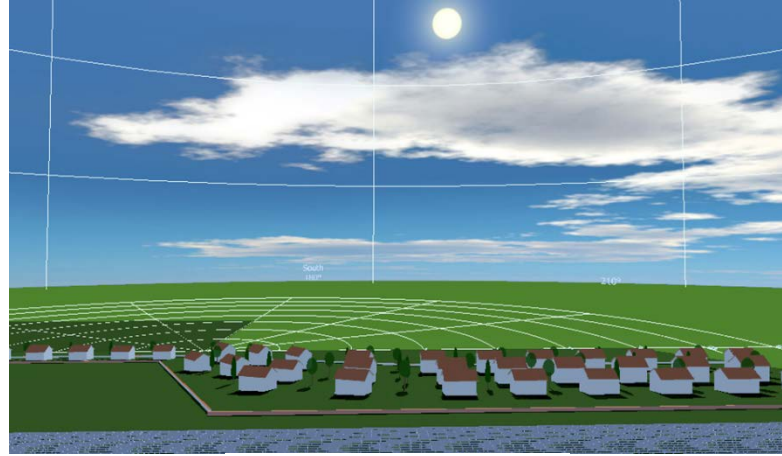
Şkil 4.19. Santral sahası 5. Etap [22].



Şkil 4.20. Santral sahası 5. Etap [22].



Şekil 4.21. Santral sahası-4 [22].



Şekil 4.22. Santral sahası-5 [22].

BÖLÜM 5. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ENERJİ ANALİZİ

Bu bölümde proje alanında 4 farklı güneş paneli ile 2 farklı eviricinin PV*SOL programı ile konfigürasyonları yapılarak 8 farklı grubun enerji analizleri ve simülasyonları yapılarak enerji çıktıları bulunmaya çalışılacaktır. Sonuçlar Valentin Software şirketi tarafından matematiksel model hesaplama sonucu elde edilmiştir (PV*SOL Algoritmaları). Güneş enerji sisteminin gerçek kazanç sonuçları hava şartları, panellerin ve eviricilerin etkinlik oranı ve de başka etkenler sebebiyle sapmalar olabilir. 8 farklı grubun enerji analizleri yapıldıktan sonra enerji sonuç değerleri karşılaştırılması yapılacaktır. Enerji analizi sırasında yapılan kabuller; AC şebekesi küçük sistemler genelde tek fazda, büyük sistemler üç fazda işletilir. Faz sayısı 3, faz ve nötr arasındaki şebeke gerilimi tipik olarak 230 V seçilmiştir. Güç faktörü olan $\cos(\phi) = 1$ olarak belirlenmiştir. PV enerjisinden dolayı önlenen karbondioksit emisyonları ise 600 g/kWh olması öngörülmüştür [22].

5.1. Enerji Bilanço Parametreleri

..... GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU			
1	Toplam yatay ışın	1525,3	kWh/m ²
2	Standart ışımandan sapma oranı	-15,25	kWh/m ² % 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ² % 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0	kWh/m ² % 0,00
5	Panel yüzeyinden yansımaya oranı	-69,72	kWh/m ² % 4,25
6	Modül üzerine toplam ışın	1570,65	kWh/m ²
7	x modül yüzey alanı		m ²
8	PV toplam ışın	0,00	kWh
9	Kirlenme oranı	0,00	kWh % 0,00
10	Panel verimliliği oranı	0,00	kWh % 0,00
11	PV nominal enerji	0,00	kWh
12	Panelin gölgelenme oranı	0,00	kWh % 0,0000
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	0,00	kWh % 0,0000
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	0,00	kWh % 0,0000
15	Panel diyot kayıp oranı	0,00	kWh % 0,0000
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	0,00	kWh % 0,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	0,00	kWh
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	0,00	kWh % 0,0000
19	PV enerji (DC)	0,00	kWh
20	Evirici girişinde bulunan enerji	0,00	kWh
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	0,00	kWh % 0,0000
22	DC/AC dönüşümü oranı	0,00	kWh % 0,0000
23	Stand-by tüketimi oranı	0,00	kWh % 0,0000
24	Toplam kablo kayıpları oranı	0,00	kWh % 0,0000
25	Şebeke besleme (AC)	0,00	kWh

Şekil 5.1. Enerji bilançosu hesap çizelgesi [22].

PV*SOL programı tüm grupların enerji analizlerini Şekil 5.1.'de belirtilen enerji bilanço tablosuna göre oluşturmaktadır. Tablodaki enerji analizlerini etkileyen parametreler güneş paneli ve eviricilere göre farklılıklar göstermektedir. Enerji analizlerini etkileyen parametrelerin açıklamaları ve değerleri aşağıda belirtilmektedir.

1. Toplam yatay ışınım: Yatay düzlemdeki toplam küresel ışınımdır. PV*SOL programına göre santral sahasının yıllık ışınım miktarının $1525,3 \text{ kWh/m}^2$ olduğu belirlenmiştir [22].

2. Standart ışınımdan sapma oranı: Güneş veya fotovoltaik ölçümler her zaman standart spektrumunu varsayar. Güneş panelinin gerçek ışınım spektrumu daha az elverişli olabileceğinden, sapmalar ışınım performansından otomatik olarak çıkarılır. PV*SOL programına göre bu oran % 1 olarak belirlenmiştir [22].

3. Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı: Panel yönüne bağlı olarak eğimli arazideki küresel ışın yatay değerden daha yüksek veya daha düşük olabilir. PV*SOL programına göre santral sahasında bu oran yüksek olarak belirlenmiş ve % 8,63 olarak belirlenmiştir [22].

4. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimut açısı): Güneş panellerinin tam güneye yönlendirildiği ve ufuk çizgisinin açık olduğu kabul edilmiştir. PV*SOL programına göre bu oran % 0 olarak belirlenmiştir [22].

5. Panel yüzeyinden yansıma oranı: Güneş panellerine ulaşan ışınımın bir kısmı, elektrik üretmeden önce panelin yüzeyinden yansır. PV*SOL programına göre bu oran % 4,25 olarak belirlenmiştir [22].

6. Panel üzerindeki toplam ışın: Güneş panellerinin hücre malzemesine gerçekte ulaşan güneş ışınımının miktarıdır. Tüm gruplarda bu değer aynıdır [22].

7. Panel yüzey alanları: Bölüm 4.2’de belirtildiği gibi A ve B grubu için 36992,8 m², C ve Ç grubu için 36748,2 m², D ve E grubu için 36492,2 m², F ve G grubu için 36923,2 m² dir [22].

8. PV toplam ışın: Toplam net yatay ışının panel yüzey alanı ile çarpılmasıyla bulunur [22].

9. Kirlenme oranı: Paneller gün içerisinde tozlanma sonucu verim düşüklüğüne sebebiyet vermektedir. Güneş panellerinin kirlenmesine bağlı kayıplar göz ardı edilebilir. PV*SOL programına göre bu oran % 0 olarak belirlenmiştir [22].

10. Panel verimliliği oranı: Panel nominal etkinlik oranı ile ilişkilidir. Panel performansını temsil eder. Bölüm 3.3.3.2’de belirtildiği gibi A ve B grubu için % 15,98 C ve Ç grubu için % 16,16 D ve E grubu için % 15,47 F ve G grubu için % 15,88 olarak belirlenmiştir [22].

11. PV Nominal Enerji: Panelin verimlilik oranı ile PV toplam ışın değerinin çarpılması sonucu PV nominal enerjisi bulunur [22].

12. Panelin gölgelenme oranı: Gölgelerden dolayı güneş paneline ulaşamayan ışınım oranıdır. Bölüm 4.4’de belirtildiği gibi A ve B grubu için % 0,52, C ve Ç grubu için % 0,57, D ve E grubu için % 0,39, F ve G grubu için % 0,12 olarak belirlenmiştir [22].

13. Panelin düşük ışık davranış oranı: Güneş ışığı değiştiğinde bir güneş panelinin verimliliği değişir. Bu sebeple enerji kaybı oluşur. PV*SOL programına göre bu oran A ve B grubu için % 2,57, C ve Ç grubu için % 1,77, D ve E grubu için % 2,01, D ve E grubu için % 2,01, F ve G grubu için % 1,75 olarak belirlenmiştir [22].

14. Panelin nominal sıcaklık sapma oranı: Bir güneş panelinin verimliliği de sıcaklığına bağlıdır. Genellikle, panel sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, oluşan kayıplar o kadar yüksek olur. Soğuk bölgelerde bu da kazanımlara neden olur. PV*SOL

programına göre bu oran A ve B grubu için % 3,39, C ve Ç grubu için % 3,45, D ve E grubu için % 3,43, F ve G grubu için % 0,62 olarak belirlenmiştir [22].

15. Panel diyot kayıp oranı: Her elektrikli bileşende olduğu gibi, paneller bağlayan diyotlarda enerji kaybolur. PV*SOL programına göre bu oran A ve B grubu için % 0,06 C ve Ç grubu için % 0,05 D ve E grubu için % 0,05 F ve G grubu için % 0,125 olarak belirlenmiştir [22].

16. Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri): Güneş panelleri genel olarak nominal enerji değerine tam olarak uymuyorsa, uyumsuzluk PV*SOL programına göre % 2 olarak belirlenmiştir [22].

17. Evirici düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC): Optimum olarak yapılandırılmış MPP izleyiciler ve çeviriciler ile elde edilebilecek DC güneş enerjisidir [22].

18. MPP adaptasyon oranı: MPP izcileri, MPP'yi arayabilecekleri bir giriş voltajı aralığına sahiptir. PV alanının gerçek MPP'si bu aralığın dışında kalırsa, optimal olmayan bir MPP bulunur ve bu da enerji kaybına neden olur. Bununla birlikte, genel olarak, PV alanındaki nihai akım daha düşüktür bu nedenle enerjide düşüşler meydana gelir. PV*SOL programına göre bu oran A grubu için % 0,3 B grubu için % 1,018 C grubu için % 0,407 Ç grubu için % 1,019 D grubu için % 0,62 E grubu için % 0,936 F grubu için % 1,19 G grubu için % 0,949 olarak belirlenmiştir [22].

19. PV enerji (DC): Üretilen DC akımdaki enerjidir [22].

20. Evirici girişinde bulunan enerji: Evirici girişinde mevcut olan enerji. PV enerjisi ile özdeştir. Ürettiğimiz enerjiiyi sisteme aktarabilmek için DC akımı AC akıma çevrilmesi gerekmektedir. Bunu ise eviriciler yapmaktadır. Bu aşamada enerji kayıpları meydana gelmektedir [22].

21. Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı: DC giriş voltajı eviricinin nominal geriliminden saparsa, dönüşüm etkinliği biraz azalacaktır. PV*SOL

programına göre bu oran A, C, D ve F grubu için % 0,48, B, Ç, E ve G grubu için % 0,96 olarak belirlenmiştir [22].

22. DC/AC dönüşümü oranı: DC geriliminin AC voltaja dönüştürülmesi nedeniyle kaybedilen enerjidir. PV*SOL programına göre bu oran A, C, D ve F grubu için % 2,23, B, Ç, E ve G grubu için % 2,7 olarak belirlenmiştir [22].

23. Stand-by tüketimi oranı: Enerjiyi beslemediğinde (bekleme ve gece) eviricinin şebekeden aldığı enerjidir. PV*SOL programına göre bu oran A, C, D ve F grubu için % 0,07, B, Ç, E ve G grubu için % 0,2 olarak belirlenmiştir [22].

24. Toplam kablo kaybı oranı: PV sistemindeki AC ve DC kablolarında oluşan omik kayıplar, kablo kayıplarına sebebiyet vermektedir. Kabloların boyutlandırıldığı safha, PV sisteminin tasarımındaki önemli safhalarından biridir. Birbirlerine paralel ve seri bağlanmış olan PV paneller, eviriciye DC kablolar aracılığıyla bağlanmak durumundadır. İletken boyunca oluşacak gerilim düşümü ve iletken akım taşıma kapasitesi, iletkenin boyutunun belirlenmesini etkileyen faktörlerdir. AC ve DC tarafında %1-4,5 arası gerilim düşümleri kabul edilebilir sınırlar dâhilindedir. Bu yüzden kablo kayıpları tüm karşılaştırmalarda % 4,5 olarak belirlenmiştir [28].

25. Şebeke besleme: Tüm kazanç ve kayıplar toplandıktan sonra güneş enerji sisteminin şebeke sistemine vereceği son enerji değerini temsil eder [22].

5.2. Sistem Enerji Bilançosu ve Simülasyon Sonuçları

PV paneli çeşidi, evirici çeşidi, montaj detayları ve kayıp değerleri (kablo, gölgelenme zararı vb.) seçimleri yapıldıktan sonra simülasyon işlemleri ile enerji analizi yapılmıştır. Enerji bilanço ise santral sahasına güneşten gelen ışıınımdan başlayarak sistemdeki tüm girdiler ve çıktılar belirtilerek PV*SOL programı tarafından enerji bilanço tablosu oluşturulmuştur. Toplam sonuçlar bölümünde üretilen enerji miktarının daha anlaşılır olabilmesi için üretilen enerji ile yaklaşık kaç evin elektrik

ihtiyacını karşılanabileceği ve kaçınılan CO₂ emisyonu sayesinde doğadan kaç adet ağacı kurtarılacağı bilgileri verilmiştir [29].

5.2.1. A grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları

Tablo 5.1. A grubu enerji bilançosu [22].

A GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU				
1	Toplam yatay ışın	1.525,30	kWh/m ²	
2	Standart ışınımdan sapma oranı	-15,25	kWh/m ²	% 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ²	% 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0,00	kWh/m ²	% 0,00
5	Panel yüzeyinden yansıma oranı	-69,72	kWh/m ²	% 4,25
6	Panel üzerindeki toplam ışın	1.570,65	kWh/m ²	
7	x panel yüzey alanı	36.992,80	m ²	
8	PV toplam ışın	58.102.688,93	kWh	
9	Kirlenme oranı	0,00	kWh	% 0,00
10	Panel verimliliği oranı	-48.817.879,24	kWh	% 84,02
11	PV nominal enerji	9.284.809,69	kWh	
12	Panelin gölgelenme oranı	-48.281,01	kWh	% 0,5200
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	-237.378,79	kWh	% 2,5700
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	-305.071,18	kWh	% 3,3900
15	Panel diyot kayıp oranı	-5.216,45	kWh	% 0,0600
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	-173.777,25	kWh	% 2,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	8.515.085,02	kWh	
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	-25.545,26	kWh	% 0,3000
19	PV enerji (DC)	8.489.539,76	kWh	
20	Evirici girişinde bulunan enerji	8.489.539,76	kWh	
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	-40.749,79	kWh	% 0,4800
22	DC/AC dönüşümü oranı	-188.408,02	kWh	% 2,2300
23	Stand-by tüketimi oranı	-5.782,27	kWh	% 0,0700
24	Toplam kablo kayıpları oranı	-371.456,99	kWh	% 4,5000
25	Şebeke besleme (AC)	7.883.216,00	kWh	

Tablo 5.1.'de A grubu enerji bilançosu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. PV*SOL programının yaptığı A grubu enerji analizine göre; İlk olarak panel üzerindeki toplam ışın miktarının bulunması gerekir. Toplam yatay ışımdan, standart ışınımdan sapma oranı (%1) çıkarılır. Bulunan bu değere panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı (%8,63) eklenir. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimuth açısı) %0 olarak kabul edildiği için sistemi etkilememektedir. Bulunan bu değere panel yüzeyinden yansıma oranı (%4,25) çıkarılır. Böylece panel üzerindeki toplam ışınımı 1.570,65 kWh/m² olarak bulunur.

Sistemdeki toplam ışın miktarı ise panel üzerindeki toplam ışın miktarının A grubunda kullanılan panellerin toplam yüzey alanının çarpılması ile 58.102.688,93 kWh olarak bulunur. Kirlenme oranı %0 kabul edilip ihmal edildiğinden sistemi etkilememektedir.

Elde edilen bu sonucu A grubu güneş panel verimliliği % 15,98 çarpılarak sistem nominal enerjisi 9.284.809,69 kWh olarak bulunur.

Sistemin nominal enerjisinden, A grubu panel kayıpları sırası ile gölgelenme oranı (%0,52), düşük ışık davranış oranı (%2,57), nominal sıcaklık sapma oranı (% 3,39), Diyot kayıp oranı (% 0,06), uyumsuzluk oranı (%2) çıkarılarak evirici olmadan sistem enerjisi 8.515.085,02 kWh elde edilir. Bölüm 4.3.1’de A grubundaki güneş panellerinin MPP bağlantıları belirtilmişti. Bulunan bu değerden MPP adaptasyonundan kaynaklı kayıp oranı (% 0,3) çıkarılarak sistem enerjisi (DC) 8.489.539,76 kWh olarak bulunur.

Sistem enerjisinden (DC), A grubu evirici kayıpları sırası ile giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı (%0,48), DC/AC dönüşümü oranı (%2,23), Stand-by tüketimi oranı (% 0,07), Toplam kablo kayıpları oranı (% 4,5) çıkarılarak sistem enerjisi (AC) 7.883.216 kWh elde edilir.

Tablo 5.2. A grubu simülasyon sonuçları [22].

A GRUP	TOPLAM
SİSTEM GÜCÜ (kWp)	5910,12
PANEL YÜZEYİ (m ²)	36.992,80
PANEL CİNSİ	JİNKO SOLAR 310 W
PANEL SAYISI (ADET)	19065
EVİRİCİ CİNSİ	SUNNY TRIPOWER
EVİRİCİ SAYISI (ADET)	234
PV ENERJİSİ (kWh)	7.883.216
KAÇINILAN CO ₂ EMİSYONU (kg/yıl)	4.727.177

Tablo 5.2.’de belirtildiği gibi; A grubu toplamda yaklaşık 5,9 MW gücünde olacaktır. Jinko Solar paneli ve Sunny Tripower eviricisinden oluşturulacak sistemde toplamda 1 yılda 7.883.216 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Bu şekilde ortalama 2594 adet evin elektrik ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerji oluşturulmuştur [29]. Toplam 19065 adet Jinko Solar (310W) güneş paneli kullanılmıştır. Ayrıca 234 adet Sunny Tripower evirici kullanılmış olup 59 adeti 20 kW, 175 adeti 25 kW gücünde seçilmiştir. Doğadan yılda 4.727.177 kg CO₂ oluşumuna engel olacaktır. Bu şekilde doğadan yaklaşık 429.744 adet ağaç kurtarılmış olacaktır [29].

5.2.2. B grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları

Tablo 5.3. B grubu enerji bilançosu [22].

B GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU				
1	Toplam yatay ışın	1.525,30	kWh/m ²	
2	Standart ışıınımdan sapma oranı	-15,25	kWh/m ²	% 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ²	% 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0,00	kWh/m ²	% 0,00
5	Panel yüzeyinden yansım oranı	-69,72	kWh/m ²	% 4,25
6	Panel üzerindeki toplam ışın	1.570,65	kWh/m ²	
7	x modül yüzey alanı	36.992,80	m ²	
8	PV toplam ışın	58.102.688,93	kWh	
9	Kirlenme oranı	0,00	kWh	% 0,00
10	Panel verimliliği oranı	-48.817.879,24	kWh	% 84,02
11	PV nominal enerji	9.284.809,69	kWh	
12	Panelin gölgelenme oranı	-48.281,01	kWh	% 0,5200
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	-237.378,79	kWh	% 2,5700
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	-305.071,18	kWh	% 3,3900
15	Panel diyot kayıp oranı	-5.216,45	kWh	% 0,0600
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	-173.777,25	kWh	% 2,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	8.515.085,02	kWh	
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	-86.683,57	kWh	% 1,0180
19	PV enerji (DC)	8.428.401,45	kWh	
20	Evirici girişinde bulunan enerji	8.428.401,45	kWh	
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	-80.912,65	kWh	% 0,9600
22	DC/AC dönüşümü oranı	-225.382,20	kWh	% 2,7000
23	Stand-by tüketimi oranı	-16.244,21	kWh	% 0,2000
24	Toplam kablo kayıpları oranı	-364.763,81	kWh	% 4,5000
25	Şebeke besleme (AC)	7.741.128,00	kWh	

Tablo 5.3.'te B grubu enerji bilançosu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. PV*SOL programının yaptığı B grubu enerji analizine göre; İlk olarak panel üzerindeki toplam ışın miktarının bulunması gerekir. Toplam yatay ışıından, standart ışıınımdan sapma oranı (%1) çıkarılır. Bulunan bu değere panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı (%8,63) eklenir. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimuth açısı) %0 olarak kabul edildiği için sistemi etkilememektedir. Bulunan bu değere panel yüzeyinden yansım oranı (%4,25) çıkarılır. Böylece panel üzerindeki toplam ışıınıımı 1.570,65 kWh/m² olarak bulunur.

Sistemdeki toplam ışın miktarı ise panel üzerindeki toplam ışın miktarının B grubunda kullanılan panellerin toplam yüzey alanının çarpılması ile 58.102.688,93 kWh olarak bulunur. Kirlenme oranı % 0 kabul edilip ihmal edildiğinden sistemi etkilememektedir. Elde edilen bu sonucu B grubu güneş panel verimliliği % 15,98 çarpılarak sistem nominal enerjisi 9.284.809,69 kWh olarak bulunur.

Sistemin nominal enerjisinden, B grubu panel kayıpları sırası ile gölgelenme oranı (%0,52), düşük ışık davranış oranı (%2,57), nominal sıcaklık sapma oranı (% 3,39), Diyot kayıp oranı (% 0,06), uyumsuzluk oranı (%2) çıkarılarak evirici olmadan sistem enerjisi 8.515.085,02 kWh elde edilir. Bölüm 4.3.2’de B grubundaki güneş panellerinin MPP bağlantıları belirtilmişti. Bulunan bu değerden MPP adaptasyonundan kaynaklı kayıp oranı (% 1,0180) çıkarılarak sistem enerjisi (DC) 8.428.401,45 kWh olarak bulunur.

Sistem enerjisinden (DC), B grubu evirici kayıpları sırası ile giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı (%0,96), DC/AC dönüşümü oranı (%2,7), Stand-by tüketimi oranı (% 0,2), Toplam kablo kayıpları oranı (% 4,5) çıkarılarak sistem enerjisi (AC) 7.741.128,00 kWh elde edilir.

Tablo 5.4. B grubu simülasyon sonuçları [22].

B GRUP	TOPLAM
SİSTEM GÜCÜ (kWp)	5910,12
PANEL YÜZEYİ (m ²)	36.992,80
PANEL CİNSİ	JİNKO SOLAR 310 W
PANEL SAYISI (ADET)	19065
EVİRİCİ CİNSİ	ABB
EVİRİCİ SAYISI (ADET)	38
PV ENERJİSİ (kWh)	7.741.128
KAÇINILAN CO ₂ EMİSYONU (kg/yıl)	4.638.318

Tablo 5.4.’te belirtildiği gibi; B grubu toplamda yaklaşık 5,9 MW gücünde olacaktır. Jinko Solar paneli ve Sunny Tripower eviricisinden oluşturulacak sistemde toplamda 1 yılda 7.741.128 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Bu şekilde ortalama 2550 adet evin elektrik ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerji oluşturulmuştur [29]. Toplam 19065 adet Jinko solar (310W) güneş paneli kullanılmıştır. Ayrıca 38 adet ABB evirici kullanılmış olup bunlardan 31 adet 100 kW, 5 adet 250 kW, 2 adet ise 630 kW gücünde kullanılmıştır. Doğadan yılda 4.638.318 kg CO₂ oluşumuna engel olacaktır. Bu şekilde doğadan yaklaşık 421.666 adet ağaç kurtarılmış olacaktır [29].

5.2.3. C grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları

Tablo 5.5. C grubu enerji bilançosu [22].

C GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU			
1	Toplam yatay ışın	1.525,30	kWh/m ²
2	Standart ışıınımdan sapma oranı	-15,25	kWh/m ² % 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ² % 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0,00	kWh/m ² % 0,00
5	Panel yüzeyinden yansıma oranı	-69,72	kWh/m ² % 4,25
6	Panel üzerindeki toplam ışın	1.570,65	kWh/m ²
7	x modül yüzey alanı	36.664,90	m ²
8	PV toplam ışın	57.587.673,26	kWh
9	Kirlenme oranı	0,00	kWh % 0,00
10	Panel verimliliği oranı	-48.281.505,26	kWh % 83,84
11	PV nominal enerji	9.306.168,00	kWh
12	Panelin gölgelenme oranı	-53.045,16	kWh % 0,5700
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	-163.780,27	kWh % 1,7700
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	-313.582,32	kWh % 3,4500
15	Panel diyet kayıp oranı	-4.387,88	kWh % 0,0500
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	-175.427,45	kWh % 2,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	8.595.944,92	kWh
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	-34.985,50	kWh % 0,4070
19	PV enerji (DC)	8.560.959,42	kWh
20	Evirici girişinde bulunan enerji	8.560.959,42	kWh
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	-41.092,61	kWh % 0,4800
22	DC/AC dönüşümü oranı	-189.993,03	kWh % 2,2300
23	Stand-by tüketimi oranı	-5.830,91	kWh % 0,0700
24	Toplam kablo kayıpları oranı	-374.581,93	kWh % 4,5000
25	Şebeke besleme (AC)	7.949.466,00	kWh

Tablo 5.5.'te C grubu enerji bilançosu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. PV*SOL programının yaptığı C grubu enerji analizine göre; İlk olarak panel üzerindeki toplam ışın miktarının bulunması gerekir. Toplam yatay ışıından, standart ışıınımdan sapma oranı (%1) çıkarılır. Bulunan bu değere panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı (%8,63) eklenir. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimuth açısı) %0 olarak kabul edildiği için sistemi etkilememektedir. Bulunan bu değere panel yüzeyinden yansıma oranı (%4,25) çıkarılır. Böylece panel üzerindeki toplam ışıınıımı 1.570,65 kWh/m² olarak bulunur.

Sistemdeki toplam ışın miktarı ise panel üzerindeki toplam ışın miktarının C grubunda kullanılan panellerin toplam yüzey alanının çarpılması ile 57.587.673,26 kWh olarak bulunur. Kirlenme oranı % 0 kabul edilip ihmal edildiğinden sistemi etkilememektedir. Elde edilen bu sonucu C grubu güneş panel verimliliği % 16,16 çarpılarak sistem nominal enerjisi 9.306.168,00 kWh olarak bulunur.

Sistemin nominal enerjisinden, C grubu panel kayıpları sırası ile gölgelenme oranı (%0,57), düşük ışık davranış oranı (%1,77), nominal sıcaklık sapma oranı (% 3,45), Diyot kayıp oranı (% 0,05), uyumsuzluk oranı (%2) çıkarılarak evirici olmadan sistem enerjisi 8.595.944,92 kWh elde edilir. Bölüm 4.3.3'te C grubundaki güneş panellerinin MPP bağlantıları belirtilmişti. Bulunan bu değerden MPP adaptasyonundan kaynaklı kayıp oranı (% 0,4070) çıkarılarak sistem enerjisi (DC) 8.560.959,42 kWh olarak bulunur.

Sistem enerjisinden (DC), C grubu evirici kayıpları sırası ile giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı (%0,48), DC/AC dönüşümü oranı (%2,23), Stand-by tüketimi oranı (% 0,07), Toplam kablo kayıpları oranı (% 4,5) çıkarılarak sistem enerjisi (AC) 7.949.466,00 kWh elde edilir.

Tablo 5.6. C grubu simülasyon sonuçları [22].

C GRUP	TOPLAM
SİSTEM GÜCÜ (kWp)	5923,48
PANEL YÜZEYİ (m ²)	36.664,90
PANEL CİNSİ	CANADIAN SOLAR
PANEL SAYISI (ADET)	19108
EVİRİCİ CİNSİ	SUNNY TRIPower
EVİRİCİ SAYISI (ADET)	234
PV ENERJİSİ (kWh)	7.949.466
KAÇINILAN CO ₂ EMİSYONU (kg/yıl)	4.767.580

Tablo 5.6.'da belirtildiği gibi; C grubu toplamda yaklaşık 5,9 MW gücünde olacaktır. Canadian Solar paneli ve Sunny Tripower eviricisinden oluşturulacak sistemde toplamda 1 yılda 7.949.466 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Bu şekilde ortalama 2619 adet evin elektrik ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerji oluşturulmuştur [29]. Toplam 19108 adet Canadian solar (310W) güneş paneli kullanılmıştır. Ayrıca 234 adet Sunny Tripower evirici kullanılmış olup 59 adeti 20 kW, 175 adeti 25 kW gücünde seçilmiştir. Doğadan yılda 4.767.580 kg CO₂ oluşumuna engel olacaktır. Bu şekilde doğadan yaklaşık 433.417 adet ağaç kurtarılmış olacaktır [29].

5.2.4. Ç grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları

Tablo 5.7. Ç grubu enerji bilançosu [22].

Ç GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU				
1	Toplam yatay ışın	1.525,30	kWh/m ²	
2	Standart ışınımdan sapma oranı	-15,25	kWh/m ²	% 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ²	% 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0,00	kWh/m ²	% 0,00
5	Panel yüzeyinden yansımaya oranı	-69,72	kWh/m ²	% 4,25
6	Modül üzerine toplam ışın	1.570,65	kWh/m ²	
7	x modül yüzey alanı	36.664,90	m ²	
8	PV toplam ışın	57.587.673,26	kWh	
9	Kirlenme oranı	0,00	kWh	% 0,00
10	Panel verimliliği oranı	-48.281.505,26	kWh	% 83,84
11	PV nominal enerji	9.306.168,00	kWh	
12	Panelin gölgelenme oranı	-53.045,16	kWh	% 0,5700
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	-163.780,27	kWh	% 1,7700
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	-313.582,32	kWh	% 3,4500
15	Panel diyot kayıp oranı	-4.387,88	kWh	% 0,0500
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	-175.427,45	kWh	% 2,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	8.595.944,92	kWh	
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	-87.592,68	kWh	% 1,0190
19	PV enerji (DC)	8.508.352,24	kWh	
20	Evirici girişinde bulunan enerji	8.508.352,24	kWh	
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	-81.680,18	kWh	% 0,9600
22	DC/AC dönüşümü oranı	-227.520,15	kWh	% 2,7000
23	Stand-by tüketimi oranı	-16.398,30	kWh	% 0,2000
24	Toplam kablo kayıpları oranı	-368.223,91	kWh	% 4,5000
25	Şebeke besleme (AC)	7.814.579,00	kWh	

Tablo 5.7.'de Ç grubu enerji bilançosu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. PV*SOL programının yaptığı Ç grubu enerji analizine göre; İlk olarak panel üzerindeki toplam ışın miktarının bulunması gerekir. Toplam yatay ışımdan, standart ışınımdan sapma oranı (%1) çıkarılır. Bulunan bu değere panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı (%8,63) eklenir. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimuth açısı) %0 olarak kabul edildiği için sistemi etkilememektedir. Bulunan bu değere panel yüzeyinden yansımaya oranı (%4,25) çıkarılır. Böylece panel üzerindeki toplam ışınımı 1.570,65 kWh/m² olarak bulunur.

Sistemdeki toplam ışın miktarı ise panel üzerindeki toplam ışın miktarının Ç grubunda kullanılan panellerin toplam yüzey alanının çarpılması ile 57.587.673,26 kWh olarak bulunur. Kirlenme oranı % 0 kabul edilip ihmal edildiğinden sistemi etkilememektedir. Elde edilen bu sonucu Ç grubu güneş panel verimliliği % 16,16 çarpılarak sistem nominal enerjisi 9.306.168,00 kWh olarak bulunur.

Sistemin nominal enerjisinden, Ç grubu panel kayıpları sırası ile gölgelenme oranı (%0,57), düşük ışık davranış oranı (%1,77), nominal sıcaklık sapma oranı (% 3,45), Diyot kayıp oranı (% 0,05), uyumsuzluk oranı (%2) çıkarılarak evirici olmadan sistem enerjisi 8.595.944,92 kWh elde edilir. Bölüm 4.3.4'te Ç grubundaki güneş panellerinin MPP bağlantıları belirtilmişti. Bulunan bu değerden MPP adaptasyonundan kaynaklı kayıp oranı (% 1,019) çıkarılarak sistem enerjisi (DC) 8.508.352,24 kWh olarak bulunur.

Sistem enerjisinden (DC), Ç grubu evirici kayıpları sırası ile giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı (%0,96), DC/AC dönüşümü oranı (%2,7), Stand-by tüketimi oranı (% 0,2), Toplam kablo kayıpları oranı (% 4,5) çıkarılarak sistem enerjisi (AC) 7.814.579,00 kWh elde edilir.

Tablo 5.8. Ç grubu simülasyon sonuçları [22].

Ç GRUP	TOPLAM
SİSTEM GÜCÜ (kWp)	5923,48
PANEL YÜZEYİ (m ²)	36.664,90
PANEL CİNSİ	CANADIAN SOLAR
PANEL SAYISI (ADET)	19108
EVİRİCİ CİNSİ	ABB
EVİRİCİ SAYISI (ADET)	42
PV ENERJİSİ (kWh)	7.814.579
KAÇINILAN CO ₂ EMİSYONU (kg/yıl)	4.682.297

Tablo 5.8.'de belirtildiği gibi; Ç grubu toplamda yaklaşık 5,9 MW gücünde olacaktır. Canadian Solar paneli ve ABB eviricisinden oluşturulacak sistemde toplamda 1 yılda 7.814.579 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Bu şekilde ortalama 2574 adet evin elektrik ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerji oluşturulmuştur [29]. Toplam 19108 adet Canadian Solar (310W) güneş paneli kullanılmıştır. Ayrıca 42 adet ABB evirici kullanılmış olup 10 adeti 250 kW, 32 adeti 100 kW gücünde seçilmiştir. Doğadan yılda 4.682.297 kg CO₂ oluşumuna engel olacaktır. Bu şekilde doğadan yaklaşık 425.664 adet ağaç kurtarılmış olacaktır [29].

5.2.5. D grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları

Tablo 5.9. D grubu enerji bilançosu [22].

D GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU				
1	Toplam yatay ışın	1.525,30	kWh/m ²	
2	Standart ışınımdan sapma oranı	-15,25	kWh/m ²	% 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ²	% 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0,00	kWh/m ²	% 0,00
5	Panel yüzeyinden yansıma oranı	-69,72	kWh/m ²	% 4,25
6	Modül üzerine toplam ışın	1.570,65	kWh/m ²	
7	x modül yüzey alanı	36.492,20	m ²	
8	PV toplam ışın	57.316.422,25	kWh	
9	Kirlenme oranı	0,00	kWh	% 0,00
10	Panel verimliliği oranı	-48.449.571,73	kWh	% 84,53
11	PV nominal enerji	8.866.850,52	kWh	
12	Panelin gölgelenme oranı	-34.580,72	kWh	% 0,3900
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	-177.528,62	kWh	% 2,0100
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	-296.857,62	kWh	% 3,4300
15	Panel diyot kayıp oranı	-4.178,94	kWh	% 0,0500
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	-167.074,09	kWh	% 2,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	8.186.630,52	kWh	
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	-50.757,11	kWh	% 0,6200
19	PV enerji (DC)	8.135.873,42	kWh	
20	Evirici girişinde bulunan enerji	8.135.873,42	kWh	
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	-39.052,19	kWh	% 0,4800
22	DC/AC dönüşümü oranı	-180.559,11	kWh	% 2,2300
23	Stand-by tüketimi oranı	-5.541,38	kWh	% 0,0700
24	Toplam kablo kayıpları oranı	-355.982,43	kWh	% 4,5000
25	Şebeke besleme (AC)	7.554.702,00	kWh	

Tablo 5.9.'da D grubu enerji bilançosu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. PV*SOL programının yaptığı D grubu enerji analizine göre; İlk olarak panel üzerindeki toplam ışın miktarının bulunması gerekir. Toplam yatay ışımdan, standart ışınımdan sapma oranı (%1) çıkarılır. Bulunan bu değere panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı (%8,63) eklenir. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimuth açısı) %0 olarak kabul edildiği için sistemi etkilememektedir. Bulunan bu değere panel yüzeyinden yansıma oranı (%4,25) çıkarılır. Böylece panel üzerindeki toplam ışınımı 1.570,65 kWh/m² olarak bulunur.

Sistemdeki toplam ışın miktarı ise panel üzerindeki toplam ışın miktarının D grubunda kullanılan panellerin toplam yüzey alanının çarpılması ile 57.316.422,25 kWh olarak bulunur. Kirlenme oranı % 0 kabul edilip ihmal edildiğinden sistemi etkilememektedir. Elde edilen bu sonucu D grubu güneş panel verimliliği % 15,47 çarpılarak sistem nominal enerjisi 8.866.850,52 kWh olarak bulunur.

Sistemin nominal enerjisinden, D grubu panel kayıpları sırası ile gölgelenme oranı (%0,39), düşük ışık davranış oranı (%2,01), nominal sıcaklık sapma oranı (% 3,43), Diyot kayıp oranı (% 0,05), uyumsuzluk oranı (%2) çıkarılarak evirici olmadan sistem enerjisi 8.186.630,52 kWh elde edilir. Bölüm 4.3.5'te D grubundaki güneş panellerinin MPP bağlantıları belirtilmişti. Bulunan bu değerden MPP adaptasyonundan kaynaklı kayıp oranı (% 0,62) çıkarılarak sistem enerjisi (DC) 8.135.873,42 kWh olarak bulunur.

Sistem enerjisinden (DC), D grubu evirici kayıpları sırası ile giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı (%0,48), DC/AC dönüşümü oranı (%2,23), Stand-by tüketimi oranı (% 0,07), Toplam kablo kayıpları oranı (% 4,5) çıkarılarak sistem enerjisi (AC) 7.554.702,00 kWh elde edilir.

Tablo 5.10. D grubu simülasyon sonuçları [22].

D GRUP	TOPLAM
SİSTEM GÜCÜ (kWp)	5642,1
PANEL YÜZEYİ (m ²)	36.492,20
PANEL CİNSİ	TRINA SOLAR 300 W
PANEL SAYISI (ADET)	18807
EVİRİCİ CİNSİ	SUNNY TRIPOWER
EVİRİCİ SAYISI (ADET)	213
PV ENERJİSİ (kWh)	7.554.702
KAÇINILAN CO ₂ EMİSYONU (kg/yıl)	4.531.045

Tablo 5.10.'da belirtildiği gibi; D grubu toplamda yaklaşık 5,6 MW gücünde olacaktır. Trina Solar paneli ve Sunny Tripower eviricisinden oluşturulacak sistemde toplamda 1 yılda 7.554.702 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Bu şekilde ortalama 2489 adet evin elektrik ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerji oluşturulmuştur [29]. Toplam 18807 adet Trina Solar (SM-PC14A) (300W) güneş paneli kullanılmıştır. Ayrıca 213 adet 25 kW gücünde Sunny Tripower evirici kullanılmıştır. Doğadan yılda 4.531.045 kg CO₂ oluşumuna engel olacaktır. Bu şekilde doğadan yaklaşık 411.914 adet ağaç kurtarılmış olacaktır [29].

5.2.6. E grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları

Tablo 5.11. E grubu enerji bilançosu [22].

E GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU				
1	Toplam yatay ışın	1.525,30	kWh/m ²	
2	Standart ışınımdan sapma oranı	-15,25	kWh/m ²	% 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ²	% 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0,00	kWh/m ²	% 0,00
5	Panel yüzeyinden yansıma oranı	-69,72	kWh/m ²	% 4,25
6	Modül üzerine toplam ışın	1.570,65	kWh/m ²	
7	x modül yüzey alanı	36.492,20	m ²	
8	PV toplam ışın	57.316.422,25	kWh	
9	Kirlenme oranı	0,00	kWh	% 0,00
10	Panel verimliliği oranı	-48.449.571,73	kWh	% 84,53
11	PV nominal enerji	8.866.850,52	kWh	
12	Panelin gölgelenme oranı	-34.580,72	kWh	% 0,3900
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	-177.528,62	kWh	% 2,0100
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	-296.857,62	kWh	% 3,4300
15	Panel diyot kayıp oranı	-4.178,94	kWh	% 0,0500
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	-167.074,09	kWh	% 2,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	8.186.630,52	kWh	
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	-76.626,86	kWh	% 0,9360
19	PV enerji (DC)	8.110.003,66	kWh	
20	Evirici girişinde bulunan enerji	8.110.003,66	kWh	
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	-77.856,04	kWh	% 0,9600
22	DC/AC dönüşümü oranı	-216.867,99	kWh	% 2,7000
23	Stand-by tüketimi oranı	-15.630,56	kWh	% 0,2000
24	Toplam kablo kayıpları oranı	-350.984,21	kWh	% 4,5000
25	Şebeke besleme (AC)	7.448.640,00	kWh	

Tablo 5.11.'de E grubu enerji bilançosu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. PV*SOL programının yaptığı E grubu enerji analizine göre; İlk olarak panel üzerindeki toplam ışın miktarının bulunması gerekir. Toplam yatay ışımdan, standart ışınımdan sapma oranı (%1) çıkarılır. Bulunan bu değere panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı (%8,63) eklenir. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimuth açısı) %0 olarak kabul edildiği için sistemi etkilememektedir. Bulunan bu değere panel yüzeyinden yansıma oranı (%4,25) çıkarılır. Böylece panel üzerindeki toplam ışınımı 1.570,65 kWh/m² olarak bulunur.

Sistemdeki toplam ışın miktarı ise panel üzerindeki toplam ışın miktarının E grubunda kullanılan panellerin toplam yüzey alanının çarpılması ile 57.316.422,25 kWh olarak bulunur. Kirlenme oranı % 0 kabul edilip ihmal edildiğinden sistemi etkilememektedir. Elde edilen bu sonucu E grubu güneş panel verimliliği % 15,47 çarpılarak sistem nominal enerjisi 8.866.850,52 kWh olarak bulunur.

Sistemin nominal enerjisinden, E grubu panel kayıpları sırası ile gölgelenme oranı (%0,39), düşük ışık davranış oranı (%2,01), nominal sıcaklık sapma oranı (% 3,43),

Diyot kayıp oranı (% 0,05), uyumsuzluk oranı (%2) çıkarılarak evirici olmadan sistem enerjisi 8.186.630,52 kWh elde edilir. Bölüm 4.3.6'da E grubundaki güneş panellerinin MPP bağlantıları belirtilmişti. Bulunan bu değerden MPP adaptasyonundan kaynaklı kayıp oranı (% 0,936) çıkarılarak sistem enerjisi (DC) 8.110.003,66 kWh olarak bulunur.

Sistem enerjisinden (DC), E grubu evirici kayıpları sırası ile giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı (%0,96), DC/AC dönüşümü oranı (%2,7), Stand-by tüketimi oranı (% 0,2), Toplam kablo kayıpları oranı (% 4,5) çıkarılarak sistem enerjisi (AC) 7.448.640,00 kWh elde edilir.

Tablo 5.12. E grubu simülasyon sonuçları [22].

E GRUP	TOPLAM
SİSTEM GÜCÜ (kWp)	5642,1
PANEL YÜZEYİ (m ²)	36.492,20
PANEL CİNSİ	TRINA SOLAR 300 W
PANEL SAYISI (ADET)	18807
EVİRİCİ CİNSİ	ABB
EVİRİCİ SAYISI (ADET)	39
PV ENERJİSİ (kWh)	7.448.640
KAÇINILAN CO ₂ EMİSYONU (kg/yıl)	4.463.297

Tablo 5.12.'de belirtildiği gibi; E grubu toplamda yaklaşık 5,6 MW gücünde olacaktır. Trina Solar paneli ve SMA eviricisinden oluşturulacak sistemde toplamda 1 yılda 7.448.640 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Bu şekilde ortalama 2454 adet evin elektrik ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerji oluşturulmuştur [29]. Toplam 18807 adet Trina Solar (SM-PC14A) (300W) güneş paneli kullanılmıştır. Ayrıca 39 ABB evirici kullanılmıştır. Bunlardan 10 adeti 250 kW gücünde 29 adeti ise 100 kW gücündedir. Doğadan yılda 4.463.297 kg CO₂ oluşumuna engel olacaktır. Bu şekilde doğadan yaklaşık 405.756 adet ağaç kurtarılmış olacaktır [29].

5.2.7. F grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları

Tablo 5.13. F grubu enerji bilançosu [22].

F GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU				
1	Toplam yatay ışın	1.525,30	kWh/m ²	
2	Standart ışıınımdan sapma oranı	-15,25	kWh/m ²	% 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ²	% 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0,00	kWh/m ²	% 0,00
5	Panel yüzeyinden yansım oranı	-69,72	kWh/m ²	% 4,25
6	Modül üzerine toplam ışın	1.570,65	kWh/m ²	
7	x modül yüzey alanı	36.923,20	m ²	
8	PV toplam ışın	57.993.371,79	kWh	
9	Kirlenme oranı	0,00	kWh	% 0,00
10	Panel verimliliği oranı	-48.784.024,35	kWh	% 84,12
11	PV nominal enerji	9.209.347,44	kWh	
12	Panelin gölgelenme oranı	-11.051,22	kWh	% 0,1200
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	-160.970,18	kWh	% 1,7500
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	-56.031,42	kWh	% 0,6200
15	Panel diyot kayıp oranı	-11.226,62	kWh	% 0,1250
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	-179.401,36	kWh	% 2,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	8.790.666,64	kWh	
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	-104.608,93	kWh	% 1,1900
19	PV enerji (DC)	8.686.057,71	kWh	
20	Evirici girişinde bulunan enerji	8.686.057,71	kWh	
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	-41.693,08	kWh	% 0,4800
22	DC/AC dönüşümü oranı	-192.769,33	kWh	% 2,2300
23	Stand-by tüketimi oranı	-5.916,12	kWh	% 0,0700
24	Toplam kablo kayıpları oranı	-380.055,56	kWh	% 4,5000
25	Şebeke besleme (AC)	8.065.670,00	kWh	

Tablo 5.13.'te F grubu enerji bilançosu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. PV*SOL programının yaptığı F grubu enerji analizine göre; İlk olarak panel üzerindeki toplam ışın miktarının bulunması gerekir. Toplam yatay ışıından, standart ışıınımdan sapma oranı (%1) çıkarılır. Bulunan bu değere panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı (%8,63) eklenir. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimuth açısı) %0 olarak kabul edildiği için sistemi etkilememektedir. Bulunan bu değere panel yüzeyinden yansım oranı (%4,25) çıkarılır. Böylece panel üzerindeki toplam ışıınıımı 1.570,65 kWh/m² olarak bulunur.

Sistemdeki toplam ışın miktarı ise panel üzerindeki toplam ışın miktarının F grubunda kullanılan panellerin toplam yüzey alanının çarpılması ile 57.993.371,79 kWh olarak bulunur. Kirlenme oranı % 0 kabul edilip ihmal edildiğinden sistemi etkilememektedir. Elde edilen bu sonucu F grubu güneş panel verimliliği % 15,88 çarpılarak sistem nominal enerjisi 9.209.347,44 kWh olarak bulunur.

Sistemin nominal enerjisinden, F grubu panel kayıpları sırası ile gölgelenme oranı (%0,12), düşük ışık davranış oranı (%1,75), nominal sıcaklık sapma oranı (% 0,62), Diyot kayıp oranı (% 0,125), uyumsuzluk oranı (%2) çıkarılarak evirici olmadan sistem enerjisi 8.790.666,64 kWh elde edilir. Bölüm 4.3.7’de F grubundaki güneş panellerinin MPP bağlantıları belirtilmişti. Bulunan bu değerden MPP adaptasyonundan kaynaklı kayıp oranı (% 0,19) çıkarılarak sistem enerjisi (DC) 8.686.057,71 kWh olarak bulunur.

Sistem enerjisinden (DC), F grubu evirici kayıpları sırası ile giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı (%0,48), DC/AC dönüşümü oranı (%2,23), Stand-by tüketimi oranı (% 0,07), Toplam kablo kayıpları oranı (% 4,5) çıkarılarak sistem enerjisi (AC) 8.065.670,00 kWh elde edilir.

Tablo 5.14. F grubu simülasyon sonuçları [22].

F GRUP	TOPLAM
SİSTEM GÜCÜ (kWp)	5868,92
PANEL YÜZEYİ (m ²)	36.923,20
PANEL CİNSİ	YINGLI SOLAR 310 W
PANEL SAYISI (ADET)	18932
EVİRİCİ CİNSİ	SUNNY TRIPOWER
EVİRİCİ SAYISI (ADET)	297
PV ENERJİSİ (kWh)	8.065.670
KAÇINILAN CO ₂ EMİSYONU (kg/yıl)	4.836.877

Tablo 5.14.’te belirtildiği gibi; F grubu toplamda yaklaşık 5,9 MW gücünde olacaktır. Yingli Solar paneli ve Sunny Tripower eviricisinden oluşturulacak sistemde toplamda 1 yılda 8.065.670 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Bu şekilde ortalama 2657 adet evin elektrik ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerji oluşturulmuştur [29]. Toplam 18932 adet Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) güneş paneli kullanılmıştır. Ayrıca 297 adet Sunny Tripower evirici kullanılmıştır. Bunlardan 154 adeti 15 kW, 63 adeti 20 kW ve 80 adeti 25 kW gücünde kullanılmıştır. Doğadan yılda 4.836.877 kg CO₂ oluşumuna engel olacaktır. Bu şekilde doğadan yaklaşık 439.716 adet ağaç kurtarılmış olacaktır [29].

5.2.8. G grubu sistem enerji bilançosu ve simülasyon sonuçları

Tablo 5.15. G grubu enerji bilançosu [22].

G GRUBU ENERJİ BİLANÇOSU			
1	Toplam yatay ışın	1525,3	kWh/m ²
2	Standart ışınımdan sapma oranı	-15,25	kWh/m ² % 1,00
3	Panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı	130,32	kWh/m ² % 8,63
4	Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı	0	kWh/m ² % 0,00
5	Panel yüzeyinden yansım oranı	-69,72	kWh/m ² % 4,25
6	Modül üzerine toplam ısın	1570,65	kWh/m ²
7	x modül yüzey alanı	36923,2	m ²
8	PV toplam ışın	57993371,79	kWh
9	Kirlenme oranı	0	kWh % 0,00
10	Panel verimliliği oranı	-48784024,35	kWh % 84,12
11	PV nominal enerji	9209347,44	kWh
12	Panelin gölgelenme oranı	-11051,2169	kWh % 0,1200
13	Panelin düşük ışık davranış oranı	-160970,184	kWh % 1,7500
14	Panelin nominal sıcaklık sapma oranı	-56031,4214	kWh % 0,6200
15	Panel diyot kayıp oranı	-11226,6183	kWh % 0,1250
16	Panel uyumsuzluk oranı (üretici bilgileri)	-179401,36	kWh % 2,0000
17	Evirici olmadan PV enerji (DC)	8790666,64	kWh
18	MPP adaptasyon kayıp oranı	-83423,4264	kWh % 0,9490
19	PV enerji (DC)	8707243,21	kWh
20	Evirici girişinde bulunan enerji	8707243,21	kWh
21	Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı	-83589,5348	kWh % 0,9600
22	DC/AC dönüşümü oranı	-232838,649	kWh % 2,7000
23	Stand-by tüketimi oranı	-16781,6301	kWh % 0,2000
24	Toplam kablo kayıpları oranı	-376831,503	kWh % 4,5000
25	Şebeke besleme (AC)	7997193,00	kWh

Tablo 5.15.'te G grubu enerji bilançosu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. PV*SOL programının yaptığı G grubu enerji analizine göre; İlk olarak panel üzerindeki toplam ışın miktarının bulunması gerekir. Toplam yatay ışımdan, standart ışınımdan sapma oranı (%1) çıkarılır. Bulunan bu değere panel düzeyinin oryantasyon ve eğilim oranı (%8,63) eklenir. Ufuk çizgisi tarafından gölgelenme oranı (Azimuth açısı) %0 olarak kabul edildiği için sistemi etkilememektedir. Bulunan bu değere panel yüzeyinden yansım oranı (%4,25) çıkarılır. Böylece panel üzerindeki toplam ışınımı 1.570,65 kWh/m² olarak bulunur.

Sistemdeki toplam ışın miktarı ise panel üzerindeki toplam ışın miktarının G grubunda kullanılan panellerin toplam yüzey alanının çarpılması ile 57.993.371,79 kWh olarak bulunur. Kirlenme oranı % 0 kabul edilip ihmal edildiğinden sistemi etkilememektedir. Elde edilen bu sonucu G grubu güneş panel verimliliği % 15,88 çarpılarak sistem nominal enerjisi 9.209.347,44 kWh olarak bulunur.

Sistemin nominal enerjisinden, G grubu panel kayıpları sırası ile gölgelenme oranı (% 0,12), düşük ışık davranış oranı (%1,75), nominal sıcaklık sapma oranı (% 0,62), Diyot kayıp oranı (% 0,125), uyumsuzluk oranı (% 2) çıkarılarak evirici olmadan sistem enerjisi 8.790.666,64 kWh elde edilir. Bölüm 4.3.8'de G grubundaki güneş panellerinin MPP bağlantıları belirtilmişti. Bulunan bu değerden MPP adaptasyonundan kaynaklı kayıp oranı (% 0,949) çıkarılarak sistem enerjisi (DC) 8.707.243,21 kWh olarak bulunur.

Sistem enerjisinden (DC), G grubu evirici kayıpları sırası ile giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma oranı (%0,96), DC/AC dönüşümü oranı (%2,7), Stand-by tüketimi oranı (% 0,2), Toplam kablo kayıpları oranı (% 4,5) çıkarılarak sistem enerjisi (AC) 7.997.193 kWh elde edilir.

Tablo 5.16. G grubu simülasyon sonuçları [22].

G GRUP	TOPLAM
SİSTEM GÜCÜ (kWp)	5868,92
PANEL YÜZEYİ (m ²)	36.923,20
PANEL CİNSİ	YINGLI SOLAR 310 W
PANEL SAYISI (ADET)	18932
EVİRİCİ CİNSİ	ABB
EVİRİCİ SAYISI (ADET)	22
PV ENERJİSİ (kWh)	7.997.193
KAÇINILAN CO ₂ EMİSYONU (kg/yıl)	4.794.810

Tablo 5.16.'da belirtildiği gibi; G grubu toplamda yaklaşık 5,9 MW gücünde olacaktır. Yingli Solar paneli ve ABB eviricisinden oluşturulacak sistemde toplamda 1 yılda 7.997.193 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Bu şekilde ortalama 2634 adet evin elektrik ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerji oluşturulmuştur [29]. Toplam 18932 adet Yingli Solar (YL310-35b_IEC_2013-08) güneş paneli kullanılmıştır. Ayrıca 22 adet ABB evirici kullanılmıştır. Bunlardan 8 adeti 100 kW, 12 adeti 315 kW ve 2 adeti 630 kW gücünde kullanılmıştır. Doğadan yılda 4.794.810 kg CO₂ oluşumuna engel olacaktır. Bu şekilde doğadan yaklaşık 435.892 adet ağaç kurtarılmış olacaktır [29].

5.2.9. Enerji Üretim Değeri Karşılaştırmaları

Bölüm 2.2 de belirtildiği gibi 70000 m² alanda PV*SOL analiz programı ile 4 farklı güneş paneli (Jinko, Canadian, Trina ve Yingli) 2 farklı evirici (Sunny Tripower ve ABB) ile 8 farklı grup oluşturulmuştur.

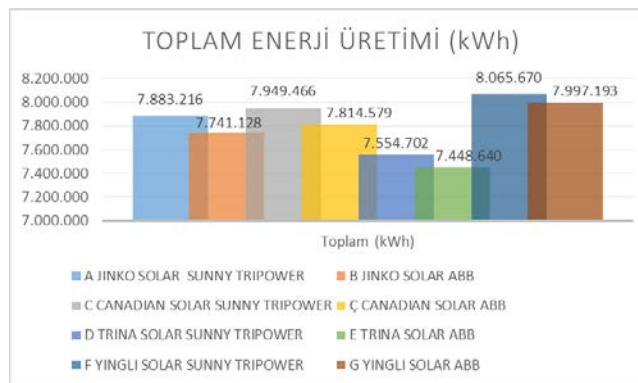
PV*SOL programıyla işletilen senaryolarda sistemlerin her biri için farklı enerji üretim değerlerinin hesaplaması yapılmıştır. Tablo 5.17.'de bu değerlere yer verilmiştir.

Tablo 5.17. Toplam enerji üretimi

GRUP	PANEL	EVİRİCİ	TOPLAM
A	JINKO SOLAR	SUNNY TRIPOWER	7.883.216
B	JINKO SOLAR	ABB	7.741.128
C	CANADIAN SOLAR	SUNNY TRIPOWER	7.949.466
Ç	CANADIAN SOLAR	ABB	7.814.579
D	TRINA SOLAR	SUNNY TRIPOWER	7.554.702
E	TRINA SOLAR	ABB	7.448.640
F	YINGLI SOLAR	SUNNY TRIPOWER	8.065.670
G	YINGLI SOLAR	ABB	7.997.193

PV*SOL analiz programı ile yapılan 8 farklı grupta en fazla enerji üretimi 8.065.670 kWh ile F grubunda (Sunny Tripower evirici ve Yingli Solar güneş paneli) üretilmiştir.

Gruplar arasındaki farklılığın sebebi sistem içerisinde farklı panel ve eviricinin kullanılmasıdır. Enerji üretimindeki farklılıkların en büyük nedenleri panellerin etkinlik derecelerinden ve evirici çevrimlerinden kaynaklı kayıplardır.



Şekil 5.2. Toplam enerji üretimi

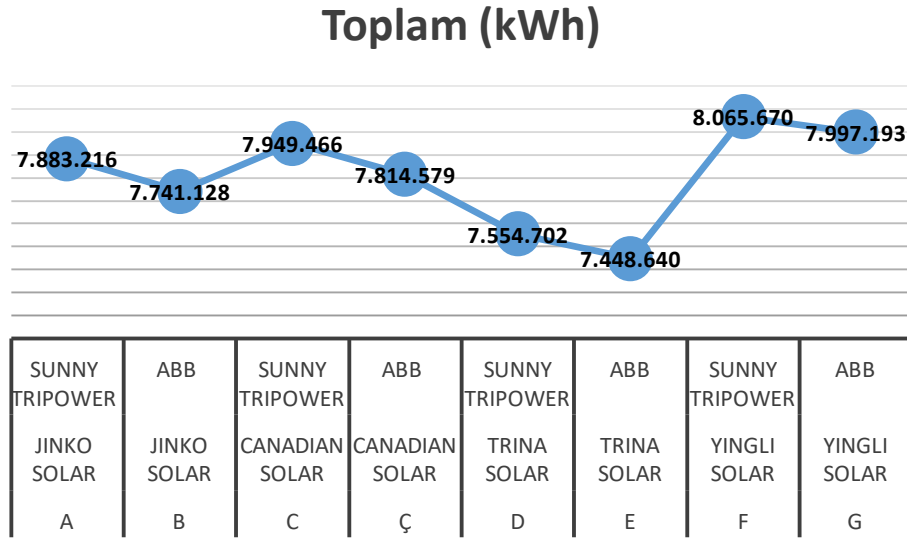
Karşılaştırmada her sistemin kendi eviricisi ve güneş paneli olup güneş panellerinin ve eviricilerin her birinin sahada farklı davranışlar sergilemesi sebebiyle enerji üretimi miktarında farklılıklar olmuştur. Eviricilerin ve güneş panellerinin seçiminde yapı ve niteliklerinin birbirlerinden farklılık göstermesine dikkat edilmiştir. Dolayısı ile ulaşılan sonuçlar da Şekil 5.2.'de görüldüğü gibi farklılık göstermektedir.

A ve B gruplarında Jinko Solar güneş panelinin 2 farklı evirici (SMA, ABB) ile analizleri yapılarak incelenmiştir. Jinko Solar güneş panelinin SMA eviricisi ile ürettiği enerji miktarı 7.883.216 kWh iken ABB eviricisi ile ürettiği enerji miktarı 7.741.128 kWh olmuştur. Evirici farkından doğan enerji üretim miktar farkı % 1,8 olmuştur.

C ve Ç gruplarında Canadian Solar güneş panelinin 2 farklı evirici (SMA, ABB) ile analizleri yapılarak incelenmiştir. Canadian Solar güneş panelinin SMA eviricisi ile ürettiği enerji miktarı 7.949.466 kWh iken ABB eviricisi ile ürettiği enerji miktarı 7.814.579 kWh olmuştur. Evirici farkından doğan enerji üretim miktar farkı % 1,7 olmuştur.

D ve E gruplarında Trina Solar güneş panelinin 2 farklı evirici (SMA, ABB) ile analizleri yapılarak incelenmiştir. Trina Solar güneş panelinin SMA eviricisi ile ürettiği enerji miktarı 7.554.702 kWh iken ABB eviricisi ile ürettiği enerji miktarı 7.448.640 kWh olmuştur. Evirici farkından doğan enerji üretim miktar farkı % 1,4 olmuştur.

F ve G gruplarında Yingli Solar güneş panelinin 2 farklı evirici (SMA, ABB) ile analizleri yapılarak incelenmiştir. Yingli Solar güneş panelinin SMA eviricisi ile ürettiği enerji miktarı 8.065.670 kWh iken ABB eviricisi ile ürettiği enerji miktarı 7.997.193 kWh olmuştur. Evirici farkından doğan enerji üretim miktar farkı % 0,85 olmuştur.



Şekil 5.3. Grupların enerji değişimi

Şekil 5.3.'te görüldüğü gibi, en az toplam enerji üretimi 7.448.640 kWh ile E grubunda (Trina Solar güneş paneli, ABB evirici) üretilmiştir. En fazla toplam enerji üretimi ise 8.065.670 kWh ile F grubunda (Sunny Tripower evirici, Yingli Solar güneş paneli) üretilmiştir. Güneş enerjisi sistemlerindeki ana değişkenden biri evirici yapısı, ana değişkenlerden ikincisi ise güneş paneli tipi olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı montaj yapısı ve eviricisi olan en yüksek ve en düşük enerji verileri kıyaslandığında arada takriben % 7,65 düzeyinde bir farklılık dikkat çekmektedir. Bu farklılık temelde, güneş panellerinin konumlandırıldığı bölgenin iklim şartlarına gösterdiği reaksiyonlardan kaynaklanabilir.

Değişkenler içerisinde enerji üretimi üstünde değişiklik sağlayan değişken evirici olarak göze çarpmaktadır. Evirici tipinden dolayı en büyük değişikliğin meydana geldiği Sunny Tripower eviricisi için F-D grubu incelendiğinde iki sistem arasındaki farkın %6,34, ABB eviricisi için G-E grubu incelendiğinde iki sistem arasındaki farkın %6,86 olduğu görülmektedir. Bu bağlamda eviricilerin, güneş enerjisi sistemlerinin önemli parametreleri olarak kabul edilmeleri sebebiyle evirici seçiminde esas ölçütün enerji üretim değerinden ziyade, güvenilirlik ve fayda/maliyet olduğu anlaşılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri içinde en sık arızalanan donanımlar eviricilerdir. Bundan dolayı, evirici seçiminde eviricinin arıza grafiği önemli bir ölçüt olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde güneş enerji

sistemleri için yapılan hesaplamalarda % 1 oranında enerji artışı yaşanması durumunda dahi, “iyi” bir iyileştirme yapıldığı sonucuna varılmaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisi santralleri içerisinde gerekli olan ekipmanların seçimi ve santral dizaynının ne derecede önemli olduğu bir kez daha anlaşılmaktadır. Ekonomik analiz bölümünde, enerji analizi sonucunda ortaya çıkan bu bulgular ekonomik girdiler ile bütünleştirilerek bölgeye en uygun ve en verimli sistemin seçilmesine çalışılacaktır.

Karşılaştırması yapılan 8 sistemin incelenmesi sonucunda, F grubu güneş enerjisi sisteminin, enerji üretimi için en verimli sistem olduğunu söylemek mümkündür. Bunun yanı sıra, çalışmamız dâhilinde, finansal analiz bölümünde, enerji üretim değerleri esas alınarak tetkikler yapılacak olup en verimli güneş enerji santral grubu 6. bölümde belirlenecektir.

BÖLÜM 6. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ EKONOMİK ANALİZİ

Güneş enerji santraline yönelik finansal analizin yapımı sırasında gerek duyulan yatırım maliyeti ve proje gelir/giderleriyle alakalı genel tanımlamalar belirtilerek farklı güneş panelleriyle oluşturulan sistemler için detaylandırılmış finansal tablolara yer verilecektir. Finansal tabloları müteakiben sistemlerin tümü tetkik edilerek ekonomik analiz ortaya koyulacaktır.

6.1. Finansal Analizde Esas Alınan Kur

Bu proje kapsamındaki analizlerin tümü Dolar (\$) bazında elde edilmiş ve dolar kurunun 3,90 ₺/\$, Euro kurunun 4,60 ₺/€ olduğu esas alınmıştır. Dolar ve Euro'nun esas alınmasının temel nedeni ise, kullanılan teçhizat ve donanımın büyük bir oranının ithalat yoluyla elde edilmesidir. Proje süresince devalüasyon ve enflasyon düzeylerinin yaklaşık olarak eşit oranda yükseleceği, dolayısıyla Dolar ve Euro bazında işçilik ve malzeme maliyetlerinde dikkate değer bir değişiklik yaşanmayacağı varsayılmış olup finansal analizlerin tümü Dolar'a göre gerçekleştirilmiştir.

6.2. Proje Gelirleri

6.2.1. Elektrik ve karbon satış gelirleri

Ekonomik analiz içinde elektrik satış gelirlerinin hesaplanmasında Şekil 6.1.'de belirtilen 08.01.2011 tarih 27809 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerji Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun esas alınmıştır [30].

I Sayılı Cetvel		
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)	
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3	
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3	
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5	
d. Biyokütle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3	
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3	
II Sayılı Cetvel		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
A- Hidroelektrik üretim tesisi	1- Türbin	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	1- Kanat	0,8
B- Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasele gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekanikliği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvörtör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışını odaklayan malzeme	0,5
D- Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2- Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3- Güneş takip sistemi	0,6
	4- Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5- Kulede güneş ışını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6- Stirling motoru	1,3
	7- Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekanikliği	0,6
E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya Stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4
F- Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Buhar veya gaz türbini	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	3- Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

Şekil 6.1. Elektrik satış ücretleri [30].

Bahse konu kanunun 1 sayılı cetveline göre; Fotovoltaik güneş enerjisiyle üretim yapan tesislerde üretimi yapılan enerjinin 13,3 ABD Doları cent/kWh birim fiyatla satın alınacağı belirtilmektedir. Aynı kanuna göre yerli ürün kullananlar için bazı teşvikler getirilmiş olup 2 sayılı çizelgede teşvik başlıkları ve destekleri belirtilmiştir. Bu tezde güneş panellerini taşıyan konstrüksiyonların yerli ürün kullanılacağı düşünülmüş olup 0,8 ABD Doları cent/kWh yerli katkı ilavesi ile toplam 14,1 ABD Doları cent/kWh fiyat ile elektrik satışı yapılacaktır [30]. Güneş panel performansının 25 yıl içerisinde her yıl %1 düşeceği varsayımı yapılmıştır.

Karbon satış geliri olarak, Kyoto Protokolü esneklik mekanizmalarıyla ortaya çıkan emisyon ticareti sistemi, katma değerinin oluşturulması sırasında sera gazı salınımı yapan kuruluşlar (demir/çelik sanayi, kağıt endüstrisi, enerji sektörü vb.) ile yenilenebilir enerji tesislerinden (biyokütle, hidro, rüzgâr, biyogaz gibi) oluşmaktadır. Bu yapı içinde kirleticilerin her sene yenilenebilir salım kotaları (EUAs-European Union Allowances) vardır. Bu tahsisatlar ilgili sanayi kuruluşunun ortaya çıkarabileceği sera gazı salınımı miktarını temsil etmektedir. Bahse konu kotaların aşılması durumunda kirletici taraf bir yenilenebilir enerji santrali tarafından yapılan (CERs) emisyon azaltım sertifikalarını satın alırsa Kyoto yaptırımlarından etkilenmez (1 ton CO₂ = 100 Euro). Öbür yandan, yenilenebilir enerji yatırımcısının doğrudan bir nakit akışı ile desteklenmesiyle fosil yakıtı kullanan enerji santrallerine olan bağımlılık azaltılabilir [31]. Toplam karbon geliri hesaplanırken, her yıl % 1 oranında azalma olacağı düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır.

6.3. Yatırım Maliyeti

6.3.1. Mühendislik hizmetleri

Yatırım yapılması düşünülen güneş enerjisine uygun bölgelerde durum tespitinin doğru şekilde yapılması büyük önem arz etmektedir. Temel enerji üretim analizleri, sahanın gölgelenme değerlendirmesi, özellikle karmaşık topografyalı arazilerde inşaat faaliyetlerin projeye olan etkilerinin incelenmesi ve elektrik dağıtım sisteminin değerlendirilmesi sonucunda raporlar hazırlanarak projenin teknik açısından uygunluğu tespit edilip ayrıca ilgili sahaların idari izinler açısından incelemesi yapılarak farklı devlet kurumları ve şahıslar açısından oluşabilecek riskler ve takip edilmesi gereken süreçler ortaya konulması gerekmektedir.

Yatırımların değerlendirilmesinde detaylı finansal çalışmaların yapılması gerekmektedir. Sahanın ön değerlendirmesi sonucunda elde edilen üretim ve inşaat maliyetleri dikkate alınarak yatırımın finansal modellemesinin yapılması gerekmektedir.

Panel yerleşimlerinin yapımında arazi kullanımı, gölgelenme etkileri ve inşaat süreçlerinin gözetilmesi büyük önem arz etmektedir. Değişken topografyalı arazilerde her panel grubunun ayrı ayrı değerlendirilebilmesi üç boyutlu olarak çalışılmalar sayesinde mümkün olmaktadır. Tamamlanan yerleşim planının, bölgenin bulutluluk, sıcaklık, topografik yapı, panellerin birbirlerine etkileri ve gölge oluşturabilecek diğer çevre yapıları dikkate alınarak yüksek çözünürlüklü üretim analizi gerçekleştirilir. Simülasyon sonucunda sahaya yerleştirilmesi planlanan her bir panelin ayrı ayrı enerji üretim performansı öngörülmektedir.

Güneş santralının inşaat faaliyetleri sırasında tüm arazinin yeniden şekillendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada sahanın her noktasının ulaşılabilir kılınması ve bunun sürdürülebilir olması büyük önem taşımaktadır. Sahanın yol ve panel yerleşim projelerinin hazırlanması sağlanarak inşaat süreçlerinin düzgün olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Geniş alanlara yayılan sahaların drenaj projelerinin hazırlanması sayesinde inşaat sonrasında sahada oluşabilecek bozulmaların büyük ölçüde önüne geçilmesini sağlanacaktır.

Mühendislik hizmetleri, alan seçiminden itibaren kuruluşun tamamlanmasına kadarki süreçte gerçekleşen mühendislik hizmetlerinin tümünü içermekte olup toplamda bu hizmetlerin 100.000 €olacağı beklenmektedir [25].

6.3.2. Makine ve Donanım

Güneş enerjisi santraline gereken teçhizat ve makineler; evirici, güneş paneli, konstrüksiyon, AC/DC kabloları olarak belirlenmiştir. Performans analizleri hazırlanırken, sistemler sekiz farklı ayrı grup üzerinde şekillendirilip sunumu yapılmıştır ve her senaryonun kendi içerisinde farklı eviricisi ve güneş paneli birimleri vardır. Kullanılan teçhizat ve makine, ilk yatırım miktarında değişiklik yapacağından dolayı ekonomik analiz açısından büyük önem taşımaktadır ve her gruba yönelik olarak hesabı yapılan farklı teçhizat ve makine bedeli finansal analiz için belirleyici elemanlardan bir tanesidir. Makine ve teçhizat olarak güneş paneli, evirici, konstrüksiyon ve solar kablo olarak ele alınmıştır. Çalışmamızın bu bölümünde,

kurulumcu ve üretici firmalardan sağlanan teçhizat ve makine fiyatlarının güncel hâli esas alınmış; güneş enerjisi santralının 2017 senesinde kurulacağı düşünülmüş ve 2017 yılı için fiyatlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Güneş santrali maliyetinin hemen hemen en yüksek oranını güneş panelleri (Fotovoltaik Modüller) teşkil etmektedir. Günümüzde pek çok güneş panel markaları ve çeşitleri mevcuttur. Bu çeşitlilik arasında fiyatlar oldukça farklılık arz etmektedir. Güneş paneli seçiminde dikkat edilmesi gerekli olan bir diğer husus ise teknik servis ve garanti konusudur. Bu yüksek lisans tezinde ise Yingli Solar, Canadian Solar, Jinko Solar ve Trina Solar markaları kullanılmıştır [34]. Güneş paneli üretimi ve satımı yapan firmalar ile görüşmeler sonucu, büyük tesisler için panel adeti olarak değil panel watt başına fiyat ile satıldığı belirtilmiştir. Üretici firmalardan elde edilen güncel fiyatlar; Jinko Solar: 45 cent/Wp, Canadian Solar: 41 cent/Wp, Trina Solar: 50 cent/Wp Yingli Solar: 52 cent/Wp olarak belirlenmiştir. Ayrıca Gümrük gözetim vergisi adı altında güneş paneli m² başına 54 dolar alınmaktadır. 2017 yılı için tüm grupların panel maliyetleri Tablo 6.1.'de belirtilmektedir.

Tablo 6.1. Güneş panel maliyeti

GRUP	PANEL MARKASI	SANTRAL GÜCÜ (kW)	GÜNEŞ PANELİ \$	PANEL YÜZEYİ (m ²)	GÜNEŞ PANELİ VERGİ \$	TOPLAM \$
A GRUP	JİNKO SOLAR 310 W	5910,2	2.659.568	36.992,8	1.997.611	4.657.179
B GRUP	JİNKO SOLAR 310 W	5910,2	2.659.568	36.992,8	1.997.611	4.657.179
C GRUP	CANADIAN SOLAR 310 W	5923,5	2.428.627	36.664,9	1.979.905	4.408.531
Ç GRUP	CANADIAN SOLAR 310 W	5923,5	2.428.627	36.664,9	1.979.905	4.408.531
D GRUP	TRINA SOLAR 300 W	5642,1	2.821.050	36.492,2	1.970.579	4.791.629
E GRUP	TRINA SOLAR 300 W	5642,1	2.821.050	36.492,2	1.970.579	4.791.629
F GRUP	YINGLI SOLAR 310 W	5868,9	3.051.838	36.923,2	1.993.853	5.045.691
G GRUP	YINGLI SOLAR 310 W	5868,9	3.051.838	36.923,2	1.993.853	5.045.691

Evirici (İnverter), ülkemizde pek çok türde evirici modeli mevcuttur. Evirici seçimi oldukça önemlidir. Güneş panelinin taşıdığı önem kadar evirici de aynı öneme sahiptir. Günümüzde birçok güneş evirici çeşitleri ve markaları vardır. Bu çeşitlilik arasında fiyatlar oldukça farklılık arz etmektedir. Evirici seçimi yapılırken dikkat edilmesi gerekli olan bir diğer husus ise teknik servis ve garanti konusudur. Bu yüksek lisans tezinde ise Sunny Tripower ve ABB markaları kullanılmıştır. Üretici firmalar yoluyla sağlanan güncel evirici fiyatlarına göre hareket edilmiş olup enerji santrali 2017 yılı içinde kurulacağı için 2017 yılına ait fiyatları esas alınmıştır. Sunny

Tripower: 14 cent/Wp, ABB: 12 cent/Wp olarak belirlenmiştir. Ayrıca Gümrük gözetim vergisi adı altında %18 vergi alınmaktadır. 2017 yılı için tüm grupların evirici maliyetleri Tablo 6.2.'de belirtilmektedir.

Tablo 6.2. Evirici maliyeti

GRUP	EVİRİCİ MARKASI	SANTRAL GÜCÜ (kW)	EVİRİCİ \$	EVİRİCİ VERGİ \$	TOPLAM \$
A GRUP	SUNNY TRIPOWER	5910,2	827.421	148.936	976.357
B GRUP	ABB	5910,2	709.218	127.659	836.877
C GRUP	SUNNY TRIPOWER	5923,5	829.287	149.272	978.559
Ç GRUP	ABB	5923,5	710.818	127.947	838.765
D GRUP	SUNNY TRIPOWER	5642,1	789.894	142.181	932.075
E GRUP	ABB	5642,1	677.052	121.869	798.921
F GRUP	SUNNY TRIPOWER	5868,9	821.649	147.897	969.546
G GRUP	ABB	5868,9	704.270	126.769	831.039

Konstrüksiyon, güneş enerji santralinin kurulumunun yapılacağı arazinin durumuna göre çakma kazık konstrüksiyon ya da beton ayaklı konstrüksiyon yapılacaktır. Bizim arazimiz % 6 eğim olduğu için ve rüzgarda, yağmurda sisteme zarar gelmemesi adına beton ayaklı 4 mm kalınlıkta daldırmalı galvaniz çelik konstrüksiyon tercih edilmiştir. Konstrüksiyon maliyeti ise 1,25 \$ /kg olarak belirlenmiştir [32,33]. 2017 yılı için tüm grupların konstrüksiyon maliyetleri Tablo 6.3.'te belirtilmektedir.

Tablo 6.3. Konstrüksiyon maliyeti [32,33].

GRUP	PANEL SAYISI	KONSTRÜKSİYON AĞIRLIĞI kg	KONSTRÜKSİYON \$	İŞÇİLİK NAKLİYE \$	TOPLAM \$
A GRUP	19065	148.565	185.706	46.427	232.133
B GRUP	19065	148.565	185.706	46.427	232.133
C GRUP	19108	147.934	184.918	46.229	231.147
Ç GRUP	19108	147.934	184.918	46.229	231.147
D GRUP	18807	146.555	183.193	45.798	228.992
E GRUP	18807	146.555	183.193	45.798	228.992
F GRUP	18932	147.768	184.710	46.178	230.888
G GRUP	18932	147.768	184.710	46.178	230.888

Solar Kablo, güneş enerji santralinde kullanılacak kablolardır. Bu kablolar güneş panelleri için kullanılacaktır. Bölüm 4.5'deki Tablo 4.2.'de kablo kesit hesabı ve metrajlara göre kablo kullanılacaktır. Güneş enerji santrali için Solar kablo maliyeti Tablo 6.4.'te 286.565,6 ₺ (73.478,4 \$) olarak belirlenmiştir [34].

Tablo 6.4. Kablo maliyeti [34].

KABLO KESİT (mm ²)	KABLO UZUNLUĞU (m)	KABLO BİRİM MALİYETİ ₺	KABLO MALİYETİ ₺	VERGİ % 18 ₺	TOPLAM ₺	GENEL TOPLAM ₺
1,5	9251	2,2	20352,2	3663,4	24015,6	286565,6
2,5	4626	3	13878,0	2498,0	16376,0	
4	4626	4	18504,0	3330,7	21834,7	
6	4626	5	23130,0	4163,4	27293,4	
10	8605	8,6	74003,0	13320,5	87323,5	
16	5645	13	73385,0	13209,3	86594,3	
25	980	20	19600,0	3528,0	23128,0	

6.3.3. Sahanın hazırlanması, inşaat çalışmaları ve arazi bedeli

Bu proje kapsamı içerisinde inşa faaliyetleri; güneş enerjisi santrali kurulumu için ihtiyaç duyulan teçhizat ve makinenin belirlenen alana ulaşmasından itibaren başlayarak santralin kurulumunun tamamlanmasına kadar sürecek olan saha hazırlama çalışmaları, trafo, kontrol odası inşası ve montaj ile diğer inşaat faaliyetleri olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın kapsamında araştırılan santral sahası tali yollara ve bağlantı yollarına uzak olmadığından dolayı lojistik açıdan herhangi bir probleme rastlanmamaktadır. Bunun yanı sıra bilhassa hasara uğrayabilecek bazı malzemeler taşınırken kullanılmak üzere, sahanın iç taraflarına ulaşımı sağlayan ve trafo odasına kadar sürecek olan bir yol tasarlanmaktadır. Bu noktada, santral alanında büyük miktarda inşaat faaliyetinin yapılacağı tahmin edilmektedir. Topraklama tesisatının döşeneceği alanlar yerden 1 m derine kazılacak; topraklama tesisatı çekilmesinin ardından yine kapatılacaktır. Bu kapsamda santral kurulumu sırasında düzleyici, kepçe ve ekskavatör gibi inşaat makinelerine gereksinim olacaktır. Santral kurulumunu gerçekleştiren firmalar aracılığıyla sağlanan bilgiler doğrultusunda saha hazırlığı ve inşaat çalışmaları için 70.000 m² alan için 107.000 \$ fiyatı belirlenmiştir [25].

Bu proje kapsamında kurulacak santral sahası Büyükçekmece Belediyesi'ne ait olduğu için herhangi bir arazi bedeli ödenmeyecektir.

6.3.4. Paratoner (Yıldırımdan Koruma) ve topraklama

Açık arazide panellerin üzerine veya PV sistemi olan bir binaya doğrudan düşecek bir yıldırımın yanıcı ve yakıcı tesiri yadsınamaz. Sistemin tamamının yangın ihtimaliyle yüz yüze olmasının yanı sıra elektriksel olarak da tüm trafolar, haberleşme modülleri, kartlar hasar görebilmektedir. Muhtemel bir yıldırım darbesi sonucunda sürdürülebilir enerji üretimi sonlanacağı için büyük bir soruna neden olacaktır. Böyle bir güneş enerji santrali için paratoner sistemi kurulumu yapılacaktır.

Bütün sistemlerde olduğu üzere güneş enerji sistemlerinde de topraklama ünitelerinin önemi büyüktür. Güneş enerji santrallerinde santral kurulumu yapılacak alana bir topraklama sistemi kurulması ve enerji santralinin bu topraklama sistemi üzerine kurulması tavsiye edilmektedir. Topraklama sistemi açısından mühim olan ise güneş enerjisi santralinde var olan tüm teçhizatın bu topraklamayla bağlantılandırılmasıdır. Fotovoltaik sistemde bulunan AC ve DC panoları içindeki bileşenlerin tümü ve bilhassa yarı iletken elemanların yanması olasıdır. Böyle bir güneş enerji santrali için topraklama kurulumu yapılacaktır.

Firmalardan alınan bilgilere göre paratoner ve topraklama maliyeti 23.590 \$ olarak belirlenmiştir [35].

6.3.5. Tel çit, CCTV (Güvenlik Kamera Sistemi) ve saha aydınlatması

Büyük yatırım yapılan güneş enerji santralinin kurulması kadar önemli bir konu ise güvenliğidir. Güneş enerji tesisi yaklaşık 70.000 m² araziye sığmaktadır. Arazinin çevresi yaklaşık 1500 metredir. Bu tesisin dış etkenlerden korunması amacı ile muhakkak tel örgü ile çevrilmesi gerekmekte olup ayrıca sistemin güvenliği ve anlık kontrolü için güvenlik kamerası ile sistemin izlenmesi gerekmektedir. Firmalardan alınan bilgilere göre toplam maliyet 35.385 \$ olarak belirlenmiştir [36].

Güneş enerji santralinin geceleyin güvenliği sağlamak amacı ile tesisimizin aydınlatılması gerekmektedir. 10 metre yükseklikteki aydınlatma direkleri 35 metrelik

aralıklarla yerleştirilecektir [35]. Firmalardan alınan bilgilere göre güneş enerji santrali için aydınlatma maliyeti 11.795 \$ olarak belirlenmiştir [32].

6.3.6. Kurulum, devreye alma, trafo ve enerji nakil hattı

Güneş enerji santraline ait mekanik ve elektrik sistemlerin kurulumu, kabulü, devreye alınması ve millî şebekeye enerji aktarılması amaçlı gerçekleştirilen her çeşit işlem ve testi kurulum ve devreye alma başlığını kapsamaktadır. Sürece yapılacak her türden harcama, seyahat gibi başlıklar ile demobilizasyon ve şantiye kapanması bu bedele dâhildir. Bu fiyatlar Tablo 6.5.'te gösterilmektedir [25].

Tablo 6.5. Kurulum ve devreye alma maliyeti [25].

ELEKTRİK İŞÇİLİK \$	MEKANİK İŞÇİLİK \$	DİĞER \$	DEVREYE ALMA \$	TOPLAM \$
44.820	24.770	15.350	10.615	95.555

Çalışmamızda daha önce de belirttiğimiz üzere, kurulması tasarlanan güneş enerjisi santralinde üretimi yapılan enerjinin, millî şebeke hattına verilebilmesi için trafo kurulumu ve enerji nakil hatları aracılığıyla TEİAŞ trafo merkezine bağlantı yapılmalıdır. Bahsi geçen sistem için tahmin edilen keşif bedeli aşağıda detaylarıyla sunulmuştur [25].

İrtibat hattı: TEİAŞ trafosu ile enerji santrali trafosu arasında Havai hat kullanılırsa; 15.000 €/km Yeraltı kablosu kullanılırsa; 25.000 €/km'dir.

Çalışmamız içerisinde yapılan güneş enerjisi santralinin bağlantı hattına “8” km. mesafede bulunduğu ve bağlantının yeraltı hatla yapılacağı ifade edilmiştir. Bu yüzden ücret 200.000 €(235.898 \$) olarak belirlenmiştir. Orta gerilim irtibatı için gereken Trafo, DC/AC kablo, OG ölçüm ve denetleme tertibatı, kabin, DC sinyal kablosu, vb. ekipmanlar için gerekli olan ücretler şimdiki ücretler üzerinden hareket edilmiş ve bu ücret 80.000 €(94.359 \$) olarak tespit edilmiştir [25].

6.3.7. Üretim lisans bedeli

2017 senesi üretim lisans bedelleri EPDK'nın 6786 No.lu Kararıyla çerçevesiylemiştir. Kararda; 28809 sayılı ve 02.11.2013 tarihli Resmi Gazetede yayımlanmak suretiyle yürürlüğe giren Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği 43. maddesi gereğince 2017 yılı içerisinde uygulanması düşünülen lisans alma ve ön lisans, lisans yenileme, yıllık lisans, lisans tadili ve ön lisans, ön lisans ve lisans sureti çıkarma masrafları Tablo 6.6.'da belirlenmiştir.

Tablo 6.6. Üretim lisans bedeli maliyeti [38]

Kurulu güç değeri, "P(MW)"		
$0 < P \leq 10$ MW	6.100	(altbinyüz)TL
$10 < P \leq 25$ MW	12.100	(onikibinyüz)TL
$25 < P \leq 50$ MW	18.100	(onsekizbinyüz)TL
$50 < P \leq 100$ MW	30.100	(otuzbinyüz)TL
$100 < P \leq 250$ MW	60.200	(altmışbinikiyüz)TL
$250 < P \leq 500$ MW	120.600	(yüzyirmibinaltıyüz)TL
$500 < P \leq 1000$ MW	180.900	(yüzseksenbindokuz)TL
$P > 1000$ MW	301.500	(üçyüzbirbinbeşyüz)TL

Doğal yerli kaynaklarla yenilenebilir enerji kaynakları odaklı üretim merkezi kurabilmek amacıyla lisans almak için başvuru yapan tüzel kişilerden, lisans alma bedellerinin % 10'u kesintiye uğrar [38]. Tezimiz kapsamında yürütülen çalışmada 6 MW için üretim lisansı alınması amacıyla 610 TL (157 \$) lik lisans alma bedeline ihtiyaç duyulacaktır.

6.3.8. Beklenmeyen ve yatırım dönemi genel giderler

Fizibilite sırasında beklenmeyen bazı giderlere ve uygulama sürecinde meydana gelebilecek muhtemel fiyat artışlarına yetebilmek için yatırım teçhizat ve makine bedelinin toplamının % 1'i oranında öngörülmeleyen gider olacağı tahmin edilmektedir.

Yatırım dönemi genel gideri, tesisin işletmeye açılacağı döneme kadarki sürede şirketin ihtiyaç duyacağı işletme giderlerinden meydana gelmektedir. Bu bağlamda, yatırım dönemi boyunca çalıştırılması tasarlanan iş görenin giderleri ve sigorta

giderleri yatırım dönemi genel gideri başlığı altında hesaba dâhil edilmiştir. Firmalar ile gerçekleştirilen görüşmelerin ardından bu tutar 41.282 \$ olarak belirtilmiştir.

6.3.9. Toplam yatırım bedeli

Bölüm 6.3.1 ile Bölüm 6.3.8 arasında ayrıntılı bir şekilde açıklaması yapılan yatırım bedelleri Tablo 6.7.'de belirtilmiştir.

Tablo 6.7. Toplam yatırım bedeli

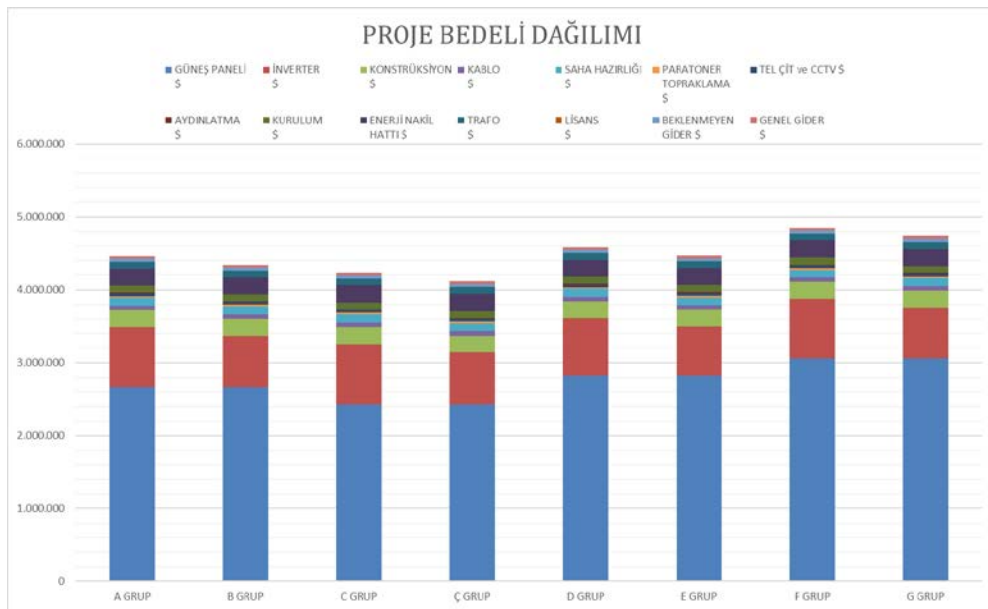
GRUP	PANEL MARKASI	EVİRİCİ MARKASI	GÜNEŞ PANELİ \$	EVİRİCİ \$	KONSTRÜKSİYON \$	KABLO \$	SAHA HAZIRLIĞI \$	PARATONER \$	TEL ÇİT ve CCTV \$	AYDINLATMA \$	KURULUM \$	ENERJİ NAKİL HATTI \$	TRAFİTO \$	LİSANS \$	BEKLENMEYEN GİDER \$	GENEL GİDER \$	TOPLAM \$
A	JİNKO 310W	SMA	2.659.568	827.421	232.133	62.270	107.000	23.590	35.385	11.795	95.555	235.898	94.359	157	37.814	41.282	4.464.226
B	JİNKO 310W	ABB	2.659.568	709.218	232.133	62.270	107.000	23.590	35.385	11.795	95.555	235.898	94.359	157	36.632	41.282	4.344.841
C	CANADIAN 310W	SMA	2.428.627	829.287	231.147	62.270	107.000	23.590	35.385	11.795	95.555	235.898	94.359	157	35.513	41.282	4.231.865
Ç	CANADIAN 310W	ABB	2.428.627	710.818	231.147	62.270	107.000	23.590	35.385	11.795	95.555	235.898	94.359	157	34.329	41.282	4.112.211
D	TRINA 300W	SMA	2.821.050	789.894	228.992	62.270	107.000	23.590	35.385	11.795	95.555	235.898	94.359	157	39.022	41.282	4.586.249
E	TRINA 300W	ABB	2.821.050	677.052	228.992	62.270	107.000	23.590	35.385	11.795	95.555	235.898	94.359	157	37.894	41.282	4.472.278
F	YINGLI 310W	SMA	3.051.838	821.649	230.888	62.270	107.000	23.590	35.385	11.795	95.555	235.898	94.359	157	41.666	41.282	4.853.332
G	YINGLI 310W	ABB	3.051.838	704.270	230.888	62.270	107.000	23.590	35.385	11.795	95.555	235.898	94.359	157	40.493	41.282	4.734.780

Güneş panelinin vergisi diğer kalemlere göre farklı belirlendiği için güneş paneli vergisi ayrı, diğer kalemlerin vergisi ayrı değerlendirilerek vergili toplam yatırım bedeli belirlenmiş olup Tablo 6.8.'de belirtilmiştir.

Tablo 6.8. Toplam yatırım bedeli (vergili)

GRUP	GÜNEŞ PANELİ HARİÇ TOPLAM \$	GÜNEŞ PANELİ HARİÇ KDV \$	GÜNEŞ PANELİ \$	GÜNEŞ PANELİ VERGİ \$	TOPLAM \$
A	1.804.659	2.129.497	2.659.568	1.997.611	8.591.335
B	1.685.274	1.988.623	2.659.568	1.997.611	8.331.075
C	1.803.238	2.127.821	2.428.627	1.979.905	8.339.591
Ç	1.683.584	1.986.629	2.428.627	1.979.905	8.078.745
D	1.765.199	2.082.934	2.821.050	1.970.579	8.639.762
E	1.651.228	1.948.449	2.821.050	1.970.579	8.391.306
F	1.801.494	2.125.762	3.051.838	1.993.853	8.972.947
G	1.682.941	1.985.871	3.051.838	1.993.853	8.714.504

Toplam proje bedelinin dağılımı Şekil 6.2.'de sunulmuş olup güneş paneli, dağılımdaki en yüksek gider kalemi olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 6.2. Proje bedeli dağılımı

6.4. Proje Giderleri

Mevcut mevzuat ve proje niteliklerine göre, ortaya çıkması beklenen proje giderleri;

1. Faaliyet giderleri
2. İletim sistemi kullanım ve işletim bedeli şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

Gider kalemlerinin her biriyle alakalı mevzuat hükmü ve varsayımlar müteakip bölüm ve başlıklarda ayrıntılı bir şekilde izah edilmiştir [25].

6.4.1 Faaliyet giderleri

Çalışma giderlerini belirlemek üzere, benzer projelerde oluşan işletme faaliyetleri ve bu faaliyetlerle ilgili giderler ele alınmıştır. Buna göre, finansal analiz kapsamındaki giderler dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada kurulumu tasarlanan güneş enerjisi santralinde çalışacak kişilerin sayısı ve branşları 2 Adet temizlik/güvenlik personeli ve 1 Adet panocu/teknisyen olarak düşünülmüştür. Çalışanların aylık maaşları ve senelik bedelleri Tablo 6.9.'da gösterildiği şekilde öngörülmüştür.

Tablo 6.9. Personel giderleri

MESLEK	ADET	BİRİM BRÜT ÜCRET \$	TOPLAM BİRİM ÜCRET \$/YIL
TEKNİSYEN	1	456	10.944
GÜVENLİK	2	456	10.944

Bakım ve yenileme giderleri, GES projeleri kapsamında panellere ait yenileme ve bakım masrafları oldukça düşüktür. Diğer taraftan, yenileme ve bakım giderlerinin en mühim bileşeni kablolar ve eviricilerden oluşan yenileme ve/veya arıza giderleri olması tahmin edilmektedir. Bunun dışında, karayoluna yakınlığı sebebiyle panellerin tahrip edilmesi veya hırsızlık gibi vakalarla karşılaşmak olasıdır. Yenileme ve bakım masrafları ilk makine, donanım ve bağlantı yatırım giderinin % 0,5'i kabul edilmiş olup değerler Tablo 6.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 6.10. Bakım ve yenileme giderleri

GRUP	PANEL MARKASI	EVİRİCİ MARKASI	BAKIM VE YENİLEME \$
A	JİNKO SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	20.558
B	JİNKO SOLAR 310 W	ABB	19.967
C	CANADIAN SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	19.408
Ç	CANADIAN SOLAR 310 W	ABB	18.816
D	TRINA SOLAR 300 W	SUNNY TRIPOWER	21.162
E	TRINA SOLAR 300 W	ABB	20.598
F	YINGLI SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	22.485
G	YINGLI SOLAR 310 W	ABB	21.898

Panellere ulaşan güneşin en fazla düzeyde enerjiye dönüştürülebilmesi için panel yüzeyi elden geldiğince temiz tutulmalıdır. Temizliğin yapılmaması durumunda, verimde düşüş yaşanacak ve simülasyonlarda hesaplanan değerlerin altı seviyesinde bir üretime rastlanacaktır. Böyle gibi bir duruma rastlamamak için analizde, 2 işçiyle her hafta sonu panel temizliği yapılacağı ve bu işlemin senelik maliyetinin 5000 \$ olacağı belirlenmiştir.

Tüm risk sigorta gideri, sigorta şirketleri aracılığıyla elde edilen yaklaşık verilere göre, fonlar ve vergi hariç yatırım bedeli toplamının % 2,5'i oranında senelik sigorta giderinin oluşacağı tahmin edilmiş olup Tablo 6.11.'de gösterilmektedir.

Tablo 6.11. Sigorta giderleri

GRUP	PANEL MARKASI	EVİRİCİ MARKASI	SİGORTA \$
A	JİNKO SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	21.478
B	JİNKO SOLAR 310 W	ABB	20.828
C	CANADIAN SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	20.849
Ç	CANADIAN SOLAR 310 W	ABB	20.197
D	TRINA SOLAR 300 W	SUNNY TRIPOWER	21.599
E	TRINA SOLAR 300 W	ABB	20.978
F	YINGLI SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	22.432
G	YINGLI SOLAR 310 W	ABB	21.786

Genel beklenmeyen giderler, fizibilite sırasında, beklenmeyen giderleri karşılamak maksadıyla işletme masraflarının % 1,5'i civarında senelik öngörülemez genel gider ayrılmasına karar verilmiş ve bu değerler Tablo 6.12.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.12. Beklenmeyen giderler

GRUP	PANEL MARKASI	EVİRİCİ MARKASI	BEKLENMEYEN GİDER \$
A	JİNKO SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	1.034
B	JİNKO SOLAR 310 W	ABB	1.015
C	CANADIAN SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	1.007
Ç	CANADIAN SOLAR 310 W	ABB	989
D	TRINA SOLAR 300 W	SUNNY TRIPOWER	1.045
E	TRINA SOLAR 300 W	ABB	1.027
F	YINGLI SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	1.077
G	YINGLI SOLAR 310 W	ABB	1.059

Toplam faaliyet giderleri, detaylı olarak her grup için Tablo 6.13.'te özetlenmiştir.

Tablo 6.13. Toplam faaliyet giderleri

GRUP	PANEL MARKASI	EVİRİCİ MARKASI	TOPLAM FAALİYET GİDERLERİ \$
A	JİNKO SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	59.014
B	JİNKO SOLAR 310 W	ABB	57.754
C	CANADIAN SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	57.208
Ç	CANADIAN SOLAR 310 W	ABB	55.945
D	TRINA SOLAR 300 W	SUNNY TRIPOWER	59.750
E	TRINA SOLAR 300 W	ABB	58.547
F	YINGLI SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	61.938
G	YINGLI SOLAR 310 W	ABB	60.686

6.4.2. İletim sistemi kullanım ve işletim bedeli

Sistemin işletim ve kullanım bedeli, üretici firma tarafından, üretilmiş olan elektriğin müşteriye satılması için hangi şebekenin kullandığına göre tayin edilen ve TEİAŞ'a tazmin edilmesi gerekli olan giderdir. İletim sisteminin üretici firma tarafından kullanılmasından dolayı ödenecek sistem işletim ve kullanım bedeli ise EPDK'nın 1894 No.lu Kararı'nda belirlenmiştir [39]. Proje kapsamında üretimi yapılan elektriğin iletim şebekesine doğrudan aktarılarak, dağıtım şirketlerine toptan satışı tasarlanmakta, satışın doğrudan yapılması nedeniyle dağıtım şebekesinden yararlanılmayacağı tahmin edilmektedir. Buna bağlı olarak, proje çerçevesinde yalnızca işletim bedeli ve iletim sistem kullanımının ödemesi yapılacaktır. EPDK'nın 5991 No.lu Kararı'na göre, İstanbul Büyükçekmece ilçesinde kurulması planlanan güneş enerjisi santrali 1. tarife bölgesinde bulunmaktadır ve Şekil 6.3.'te

belirtildiği üzere, 5991 No.lu Karar gereğince 1. bölge için işletim bedeli 10.813,65 TL/MW-yıl, iletim sistem kullanım bedeli ise 23.887,99 TL/MW-yıl olarak kararlaştırılmıştır.

Bölge	Üretim		Tüketim	
	Sistem Kullanım Tarifesi	Sistem İşletim Tarifesi	Sistem Kullanım Tarifesi	Sistem İşletim Tarifesi
	TL/MW-Yıl	TL/MW-Yıl	TL/MW-Yıl	TL/MW-Yıl
1	23.887,99	10.813,65	50.193,97	10.813,65
2	25.268,00	10.813,65	49.134,46	10.813,65
3	25.420,34	10.813,65	49.210,05	10.813,65
4	25.638,15	10.813,65	48.831,80	10.813,65
5	26.379,51	10.813,65	48.268,36	10.813,65
6	27.284,14	10.813,65	47.325,34	10.813,65
7	27.391,43	10.813,65	46.488,74	10.813,65
8	29.299,53	10.813,65	45.484,58	10.813,65
9	30.113,17	10.813,65	44.386,05	10.813,65
10	32.489,63	10.813,65	42.897,84	10.813,65
11	33.762,84	10.813,65	41.768,89	10.813,65
12	34.838,68	10.813,65	40.748,37	10.813,65
13	35.963,81	10.813,65	40.035,78	10.813,65
14	37.952,87	10.813,65	37.910,13	10.813,65

Şekil 6.3. İletim sistemi kullanım ve işletim bedeli [39].

Sistem işletim ve kullanım bedeli giderleri yıllık olarak ödenecek olup Şekil 6.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 6.14. Sistem kullanım ve işletim bedeli [39].

GRUP	PANEL MARKASI	EVİRİCİ MARKASI	SANTRAL GÜCÜ (MW)	İLETİM SİSTEMİ KULLANIM BEDELİ \$	İLETİM SİSTEMİ İŞLETİM BEDELİ \$	TOPLAM \$
A	JİNKO SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	5,91	36200,41	16387,25	52587,67
B	JİNKO SOLAR 310 W	ABB	5,91	36200,41	16387,25	52587,67
C	CANADIAN SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	5,92	36282,06	16424,22	52706,27
Ç	CANADIAN SOLAR 310 W	ABB	5,92	36282,06	16424,22	52706,27
D	TRINA SOLAR 300 W	SUNNY TRIPOWER	5,64	34558,57	15644,02	50202,60
E	TRINA SOLAR 300 W	ABB	5,64	34558,57	15644,02	50202,60
F	YINGLI SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	5,87	35947,87	16272,94	52220,81
G	YINGLI SOLAR 310 W	ABB	5,87	35947,87	16272,94	52220,81

Tüm grupların, Tablo 6.14.'te sistem kullanım ve işletim bedelleri belirtilmiştir.

6.5. Mali Tablolar

Projeye ait mali tablolar; gelirler, yatırım bedeli, tahmin edilen finansman şartları ve giderler dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu tip projelerde, projeye yönelik mali tablolarının hesabı yapılırken genellikle İKO (İç Kârlılık Oranı) ve “Geri Ödeme Süresi Hesabı” hesaplarından faydalanılmaktadır. Çalışmamız kapsamı içerisinde de

bu iki ekonomik analiz yönteminden yararlanılarak hesaplamalar yapılmıştır. PV sistemlerinin 25 yıllık ekonomik ömürlerinin olduğu öngörülmektedir. Buradan hareketle, finansal değerlendirmeler yapılırken sistem ömrü değer aralığı için ortalama 25 yıl dikkate alınmıştır.

6.5.1. Geri ödeme süresi hesabı (Amortisman)

Bir yatırımın geri ödeme süresinin, yatırım için sarf edilen toplam sermayenin ne kadar zamanda geri kazanılabileceğini ifade eden sayısal bir değer olduğu bir gerçektir. Diğer bir tanımda ise, yatırımdan elde edilecek net kazançların yatırım maliyetini karşılayabilmesi açısından geçmesi gerekli olan süre olarak ifade edilmektedir. Yatırımın için geri ödeme zamanı hesap edilirken yatırımdan sağlanan senelik net para akışları kümülatif şekilde toplanmaktadır. Net para akışlarının kümülatif toplamı ilk yatırım miktarına eşitlendiği sene, yatırım için geri ödeme süresini verir [40]. Geri ödeme süresi metodu, yatırım projelerinin değerlendirilmesi aşamasında istifade edilen metotlar içerisinde en yaygın yararlanılanlardan bir tanesi olarak öne çıkmaktadır. Bu metot ile yatırımcılar, yapmış oldukları yatırımların rasyonel olup olmadıklarını rahatlıkla kavrayabilirler. Amortisman zamanı, bir vakit kavramıdır, kârlılık ölçütü olarak alınmaz. Yatırım projelerinde amortisman süresi kısa oldukça, yatırım riskinin düşük olacağı ifade edilmektedir. Geri ödeme süresinin hesabı Denklem 6.1 ile gösterilmiştir [41].

$$\text{GÖS (Geri ödeme süresi)} = \text{YT} / (\text{Ngy} - \text{YG}) \text{ olarak formüle edilebilir.} \quad (6.1)$$

GÖS: Geri Ödeme Süresi, (Yıl) YT: Yatırım Tutarı (\$)

Ngy: Yıllık Net Nakit Girişi (\$/Yıl)

YG: Yıllık Gider (\$/Yıl) olarak belirtilmektedir.

6.5.2. İç karlılık oranı (İKO)

İç karlılık oranı (İKO) metodu, naktin vakit kıymetini gözönünde bulunduran, sistemin elde edeceği verime ulaşmak için kullanılan bir değerlendirme yöntemidir. İç karlılık oranı, yatırımın faydalı ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişlerinin bugünkü

değerinin yatırım için yapılacak harcamaların bugünkü değerine eşitliğini sağlayan faiz oranıdır. İç karlılık oranı yöntemi indirgenmiş nakit akımları, sermayenin marjinal etkinliği, gerçek verim usulü gibi değişik isimlerle de ifade edilmektedir. Yatırımın iç karlılık oranının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler (Denklem 6.2) kullanılır.

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1+r)^i} + \frac{H}{(1+r)^{n+1}} \quad (6.2)$$

C_i = Maliyet A_i ve H = Fayda r = Faiz oranı n = Süre (Yıl)

Buna göre, yatırım harcamalarının bugünkü kıymetini yatırımdan sağlanacak nakit girişlerinin bugünkü kıymetine eşitleyen faiz oranı yatırımın iç karlılık oranını verecektir. Yatırımdan beklenen iç karlılık oranı, eğer yatırımcının beklentilerini karşılamıyorsa yatırım kararı alınmaz [42].

6.5.3. Geri ödeme süresi hesabı ile ekonomik analiz

Bu çalışmada, 8 farklı grup kıyaslanarak santrallerin kurulumu, bakımı ve işletimi safhasında her ayrıntı tetkik edilmiştir. Amortisman hesabı ile ekonomik analiz yapıldığında grupların tüm ekonomik gelir ve giderleri hesaba girilerek 8 farklı gruptaki amortisman süresi en az olan grup detaylı olarak tetkik edilmiştir. Geri ödeme hesabında sistem verimliliğinin her yıl %1 azaldığı olarak varsayılmıştır. Tüm sistemlerin geri ödeme süreleri Tablo 6.15. ile Tablo 6.22. arasına gösterilmiş olup Şekil 6.4.'te karşılaştırılmıştır. Tablolar incelendiğinde sistemler için işletme yılı belirtilmiştir. Belirtilen zamanlar santralin hangi zamanda amorti ettiğini ifade etmektedir. Amortisman hesap metoduna göre bu müddetler içerisinde en az müddete sahip santral kendisini en az müddette geri ödeyen santral olacaktır. Başlık 5.7 belirtildiği gibi PV sistemlerinin ekonomik ömrünün 25 yıl olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla, finansal değerlendirmelerde sistem ömrü parametresi için 25 yıl dikkate alınmıştır. Geri dönüşüm hesap tabloları incelendiğinde 8 farklı sistemde 5. ve 6. işletme yılları arasında geri ödeme sürelerini tamamladıkları görülmektedir.

Tablo 6.15. A grubu geri dönüşüm hesabı

A GRUBU		GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN GERİ DÖNÜŞÜM HESABI									
Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir \$	Karbon Geliri \$	Yatırım Bedeli \$	Yıllık Gider \$	Yatırım Geri Dönüşü \$			
1	100%	100%	7.883.216	1.111.533,5	567.261,2	-8.591.334,8	-111.602	-7.024.142			
2	99%	99%	7.804.384	1.100.418,1	561.588,6		-112.718	-5.474.854			
3	98%	98%	7.725.552	1.089.302,8	555.916,0		-113.845	-3.943.480			
4	97%	97%	7.646.720	1.078.187,5	550.243,4		-114.984	-2.430.033			
5	96%	96%	7.567.887	1.067.072,1	544.570,8		-116.134	-934.524			
6	95%	95%	7.489.055	1.055.956,8	538.898,2		-117.295	543.036			
7	94%	94%	7.410.223	1.044.841,4	533.225,6		-118.468	2.002.635			
8	93%	93%	7.331.391	1.033.726,1	527.553,0		-119.653	3.444.262			
9	92%	92%	7.252.559	1.022.610,8	521.880,3		-120.849	4.867.904			
10	91%	91%	7.173.727	1.011.495,4	516.207,7		-122.058	6.273.550			
11	90%	90%	7.094.894	1.000.380,1	510.535,1		-123.278	7.661.187			
12	89%	89%	7.016.062	989.264,8	504.862,5		-124.511	9.030.803			
13	88%	88%	6.937.230	978.149,4	499.189,9		-125.756	10.382.386			
14	87%	87%	6.858.398	967.034,1	493.517,3		-127.014	11.715.924			
15	86%	86%	6.779.566	955.918,8	487.844,7		-128.284	13.031.404			
16	85%	85%	6.700.734	944.803,4	482.172,1		-129.567	14.328.813			
17	84%	84%	6.621.901	933.688,1	476.499,4		-130.862	15.608.138			
18	83%	83%	6.543.069	922.572,8	470.826,8		-132.171	16.869.367			
19	82%	82%	6.464.237	911.457,4	465.154,2		-133.493	18.112.486			
20	81%	81%	6.385.405	900.342,1	459.481,6		-134.828	19.337.482			
21	80%	80%	6.306.573	889.226,8	453.809,0		-136.176	20.544.342			
22	79%	79%	6.227.741	878.111,4	448.136,4		-137.538	21.733.052			
23	78%	78%	6.148.908	866.996,1	442.463,8		-138.913	22.903.599			
24	77%	77%	6.070.076	855.880,8	436.791,2		-140.302	24.055.969			
25	76%	76%	5.991.244	844.765,4	431.118,5		-141.705	25.190.148			

A GRUBU		GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN GERİ DÖNÜŞÜM HESABI									
Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir \$	Karbon Geliri \$	Yatırım Bedeli \$	Yıllık Gider \$	Yatırım Geri Dönüşü \$			
1	100%	100%	7.883.216	1.111.533,5	567.261,2	-8.591.334,8	-111.602	-7.024.142			
2	99%	99%	7.804.384	1.100.418,1	561.588,6		-112.718	-5.474.854			
3	98%	98%	7.725.552	1.089.302,8	555.916,0		-113.845	-3.943.480			
4	97%	97%	7.646.720	1.078.187,5	550.243,4		-114.984	-2.430.033			
5	96%	96%	7.567.887	1.067.072,1	544.570,8		-116.134	-934.524			
6	95%	95%	7.489.055	1.055.956,8	538.898,2		-117.295	543.036			
7	94%	94%	7.410.223	1.044.841,4	533.225,6		-118.468	2.002.635			
8	93%	93%	7.331.391	1.033.726,1	527.553,0		-119.653	3.444.262			
9	92%	92%	7.252.559	1.022.610,8	521.880,3		-120.849	4.867.904			
10	91%	91%	7.173.727	1.011.495,4	516.207,7		-122.058	6.273.550			
11	90%	90%	7.094.894	1.000.380,1	510.535,1		-123.278	7.661.187			
12	89%	89%	7.016.062	989.264,8	504.862,5		-124.511	9.030.803			
13	88%	88%	6.937.230	978.149,4	499.189,9		-125.756	10.382.386			
14	87%	87%	6.858.398	967.034,1	493.517,3		-127.014	11.715.924			
15	86%	86%	6.779.566	955.918,8	487.844,7		-128.284	13.031.404			
16	85%	85%	6.700.734	944.803,4	482.172,1		-129.567	14.328.813			
17	84%	84%	6.621.901	933.688,1	476.499,4		-130.862	15.608.138			
18	83%	83%	6.543.069	922.572,8	470.826,8		-132.171	16.869.367			
19	82%	82%	6.464.237	911.457,4	465.154,2		-133.493	18.112.486			
20	81%	81%	6.385.405	900.342,1	459.481,6		-134.828	19.337.482			
21	80%	80%	6.306.573	889.226,8	453.809,0		-136.176	20.544.342			
22	79%	79%	6.227.741	878.111,4	448.136,4		-137.538	21.733.052			
23	78%	78%	6.148.908	866.996,1	442.463,8		-138.913	22.903.599			
24	77%	77%	6.070.076	855.880,8	436.791,2		-140.302	24.055.969			
25	76%	76%	5.991.244	844.765,4	431.118,5		-141.705	25.190.148			

YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ

Yıl	Yatırım Geri Dönüşü \$
2	-7.024.142
3	-5.474.854
4	-3.943.480
5	-2.430.033
6	-934.524
7	543.036
8	2.002.635
9	3.444.262
10	4.867.904
11	6.273.550
12	7.661.187
13	9.030.803
14	10.382.386
15	11.715.924
16	13.031.404
17	14.328.813
18	15.608.138
19	16.869.367
20	18.112.486
21	19.337.482
22	20.544.342
23	21.733.052
24	22.903.599
25	24.055.969

Tablo 6.16. B grubu geri dönüşüm hesabı

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN GERİ DÖNÜŞÜM HESABI		B GRUBU						
Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir \$	Karbon Geliri \$	Yatırım Bedeli \$	Yıllık Gider \$	Yatırım Geri Dönüşü \$
1	100%	100%	7.741.128	1.091.499,0	556.598,2	-8.331.075,4	-110.342	-6.793.320
2		99%	7.663.717	1.080.584,1	551.032,2		-111.445	-5.273.149
3		98%	7.586.305	1.069.669,1	545.466,2		-112.560	-3.770.573
4		97%	7.508.894	1.058.754,1	539.900,2		-113.685	-2.285.605
5		96%	7.431.483	1.047.839,1	534.334,2		-114.822	-818.253
6		95%	7.354.072	1.036.924,1	528.768,3		-115.970	631.469
7		94%	7.276.660	1.026.009,1	523.202,3		-117.130	2.063.550
8		93%	7.199.249	1.015.094,1	517.636,3		-118.301	3.477.979
9		92%	7.121.838	1.004.179,1	512.070,3		-119.484	4.874.744
10		91%	7.044.426	993.264,1	506.504,3		-120.679	6.253.833
11	90%	90%	6.967.015	982.349,1	500.938,3		-121.886	7.615.235
12		89%	6.889.604	971.434,2	495.372,4		-123.105	8.958.936
13		88%	6.812.193	960.519,2	489.806,4		-124.336	10.284.926
14		87%	6.734.781	949.604,2	484.240,4		-125.579	11.593.191
15		86%	6.657.370	938.689,2	478.674,4		-126.835	12.883.720
16		85%	6.579.959	927.774,2	473.108,4		-128.103	14.156.499
17		84%	6.502.548	916.859,2	467.542,5		-129.384	15.411.516
18		83%	6.425.136	905.944,2	461.976,5		-130.678	16.648.759
19		82%	6.347.725	895.029,2	456.410,5		-131.985	17.868.213
20		81%	6.270.314	884.114,2	450.844,5		-133.305	19.069.867
21		80%	6.192.902	873.199,2	445.278,5		-134.638	20.253.707
22		79%	6.115.491	862.284,2	439.712,5		-135.984	21.419.719
23		78%	6.038.080	851.369,3	434.146,6		-137.344	22.567.891
24		77%	5.960.669	840.454,3	428.580,6		-138.718	23.698.208
25		76%	5.883.257	829.539,3	423.014,6		-140.105	24.810.657

GÜNEŞ PANELİ		JINKO SOLAR	
İNVERTER		ABB	
TESİSİN KURULU GÜCÜ	5.910,1	kW	
YILLIK TOPLAM ENERJİ	7.741.128	kWh	
ENERJİ SATIŞ BEDELİ	0,141	\$/yıl	
KARBON EMİSYONU	4.638,3	ton/yıl	
KARBON EMİSYON BEDELİ	120,0	\$	

YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ

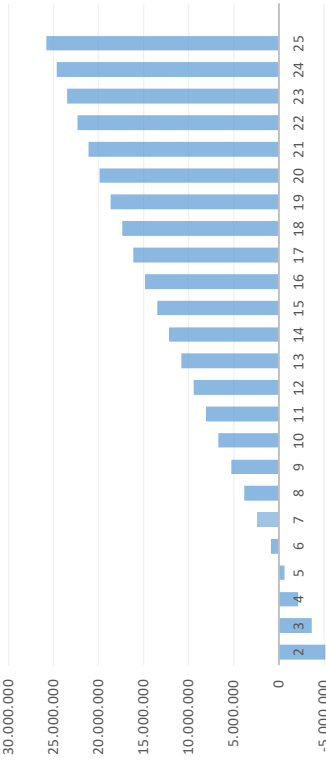
Yıl	Yatırım Geri Dönüşü \$
2	-6.793.320
3	-5.273.149
4	-3.770.573
5	-2.285.605
6	-818.253
7	631.469
8	2.063.550
9	3.477.979
10	4.874.744
11	6.253.833
12	7.615.235
13	8.958.936
14	10.284.926
15	11.593.191
16	12.883.720
17	14.156.499
18	15.411.516
19	16.648.759
20	17.868.213
21	19.069.867
22	20.253.707
23	21.419.719
24	22.567.891
25	23.698.208

Tablo 6.17. C grubu geri dönüşüm hesabı

C GRUBU		Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir \$	Karbon Geliri \$	Yatırım Bedeli \$	Yıllık Gider \$	Yatırım Geri Dönüşü \$
GÜNEŞ PANELİ		1	100%	100%	7.949.466	1.120.874,7	572.109,6	-8.339.591,1	-109.914	-6.756.521
INVERTER		2		99%	7.869.971	1.109.666,0	566.388,5		-111.014	-5.191.480
TESİSİN KURULU GÜCÜ kW		3		98%	7.790.477	1.098.457,2	560.667,4		-112.124	-3.644.479
YILLIK TOPLAM ENERJİ kWh		4		97%	7.710.982	1.087.248,5	554.946,3		-113.245	-2.115.529
ENERJİ SATIŞ BEDELİ \$/yıl		5		96%	7.631.487	1.076.039,7	549.225,2		-114.377	-604.642
KARBON EMİSYONU ton/yıl		6		95%	7.551.993	1.064.831,0	543.504,1		-115.521	888.172
KARBON EMİSYON BEDELİ \$		7		94%	7.472.498	1.053.622,2	537.783,0		-116.676	2.362.901
		8		93%	7.393.003	1.042.413,5	532.061,9		-117.843	3.819.534
		9		92%	7.313.509	1.031.204,7	526.340,8		-119.022	5.258.058
		10		91%	7.234.014	1.019.996,0	520.619,7		-120.212	6.678.462
		11	90%	90%	7.154.519	1.008.787,2	514.898,6		-121.414	8.080.734
		12		89%	7.075.025	997.578,5	509.177,5		-122.628	9.464.862
		13		88%	6.995.530	986.369,7	503.456,4		-123.854	10.830.834
		14		87%	6.916.035	975.161,0	497.735,4		-125.093	12.178.637
		15		86%	6.836.541	963.952,2	492.014,3		-126.344	13.508.260
		16		85%	6.757.046	952.743,5	486.293,2		-127.607	14.819.689
		17		84%	6.677.551	941.534,8	480.572,1		-128.883	16.112.913
		18		83%	6.598.057	930.326,0	474.851,0		-130.172	17.387.918
		19		82%	6.518.562	919.117,3	469.129,9		-131.474	18.644.691
		20		81%	6.439.067	907.908,5	463.408,8		-132.789	19.883.220
		21		80%	6.359.573	896.699,8	457.687,7		-134.116	21.103.491
		22		79%	6.280.078	885.491,0	451.966,6		-135.458	22.305.491
		23		78%	6.200.583	874.282,3	446.245,5		-136.812	23.489.207
		24		77%	6.121.089	863.073,5	440.524,4		-138.180	24.654.624
		25		76%	6.041.594	851.864,8	434.803,3		-139.562	25.801.730

YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ

\$



Tablo 6.18. Ç grubu geri dönüşüm hesabı

Ç GRUBU		Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir \$	Karbon Geliri \$	Yatırım Bedeli \$	Yıllık Gider \$	Yatırımın Geri Dönüşü \$
GÜNEŞ PANELİ		1	100%	100%	7.814.579	1.101.855,6	561.875,6	-8.078.744,7	-108.651	-6.523.665
İNVERTER		2		99%	7.736.433	1.090.837,1	556.256,9		-109.738	-4.986.308
TESİSİN KURULU GÜCÜ		3		98%	7.658.287	1.079.818,5	550.638,1		-110.835	-3.466.687
YILLIK TOPLAM ENERJİ		4		97%	7.580.142	1.068.800,0	545.019,4		-111.943	-1.964.811
ENERJİ SATIŞ BEDELİ		5		96%	7.501.996	1.057.781,4	539.400,6		-113.063	-480.692
KARBON EMİSYONU		6		95%	7.423.850	1.046.762,9	533.781,9		-114.194	985.659
KARBON EMİSYON BEDELİ		7		94%	7.345.704	1.035.744,3	528.163,1		-115.335	2.434.231
		8		93%	7.267.558	1.024.725,7	522.544,3		-116.489	3.865.012
		9		92%	7.189.413	1.013.707,2	516.925,6		-117.654	5.277.991
		10		91%	7.111.267	1.002.688,6	511.306,8		-118.830	6.673.157
		11	90%	90%	7.033.121	991.670,1	505.688,1		-120.019	8.050.496
		12		89%	6.954.975	980.651,5	500.069,3		-121.219	9.409.998
		13		88%	6.876.830	969.633,0	494.450,6		-122.431	10.751.651
		14		87%	6.798.684	958.614,4	488.831,8		-123.655	12.075.442
		15		86%	6.720.538	947.595,8	483.213,1		-124.892	13.381.359
		16		85%	6.642.392	936.577,3	477.594,3		-126.141	14.669.390
		17		84%	6.564.246	925.558,7	471.975,5		-127.402	15.939.522
		18		83%	6.486.101	914.540,2	466.356,8		-128.676	17.191.743
		19		82%	6.407.955	903.521,6	460.738,0		-129.963	18.426.040
		20		81%	6.329.809	892.503,1	455.119,3		-131.263	19.642.399
		21		80%	6.251.663	881.484,5	449.500,5		-132.575	20.840.809
		22		79%	6.173.517	870.466,0	443.881,8		-133.901	22.021.256
		23		78%	6.095.372	859.447,4	438.263,0		-135.240	23.183.727
		24		77%	6.017.226	848.428,8	432.644,2		-136.592	24.328.207
		25		76%	5.939.080	837.410,3	427.025,5		-137.958	25.454.685

YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ		Yıl	Yatırımın Geri Dönüşü \$
CANADIAN SOLAR		2	-5.000.000
ABB		3	-4.986.308
5.923,5 kW		4	-3.466.687
7.814.579 kWh		5	-1.964.811
0,141 \$/yıl		6	-480.692
4.682,3 ton/yıl		7	985.659
120,0 \$		8	2.434.231

Tablo 6.19. D grubu geri dönüşüm hesabı

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN GERİ DÖNÜŞÜM HESABI									
D GRUBU									
Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir \$	Karbon Geliri \$	Yatırım Bedeli \$	Yıllık Gider \$	Yatırım Geri Dönüşü \$	Yatırım Geri Dönüşü \$
1	100%	100%	7.554.702	1.065.213,0	543.725,4	-8.639.761,6	-109.953	-7.140.776	-7.140.776
2		99%	7.479.155	1.054.560,9	538.288,1		-111.053	-5.658.980	-5.658.980
3		98%	7.403.608	1.043.908,7	532.850,9		-112.163	-4.194.383	-4.194.383
4		97%	7.328.061	1.033.256,6	527.413,6		-113.285	-2.746.998	-2.746.998
5		96%	7.252.514	1.022.604,5	521.976,4		-114.418	-1.316.835	-1.316.835
6		95%	7.176.967	1.011.952,3	516.539,1		-115.562	96.095	96.095
7		94%	7.101.420	1.001.300,2	511.101,9		-116.717	1.491.780	1.491.780
8		93%	7.025.873	990.648,1	505.664,6		-117.885	2.870.208	2.870.208
9		92%	6.950.326	979.995,9	500.227,4		-119.063	4.231.368	4.231.368
10		91%	6.874.779	969.343,8	494.790,1		-120.254	5.575.248	5.575.248
11	90%	90%	6.799.232	958.691,7	489.352,9		-121.457	6.901.836	6.901.836
12		89%	6.723.685	948.039,6	483.915,6		-122.671	8.211.120	8.211.120
13		88%	6.648.138	937.387,4	478.478,4		-123.898	9.503.088	9.503.088
14		87%	6.572.591	926.735,3	473.041,1		-125.137	10.777.727	10.777.727
15		86%	6.497.044	916.083,2	467.603,8		-126.388	12.035.026	12.035.026
16		85%	6.421.497	905.431,0	462.166,6		-127.652	13.274.971	13.274.971
17		84%	6.345.950	894.778,9	456.729,3		-128.929	14.497.551	14.497.551
18		83%	6.270.403	884.126,8	451.292,1		-130.218	15.702.752	15.702.752
19		82%	6.194.856	873.474,6	445.854,8		-131.520	16.890.561	16.890.561
20		81%	6.119.309	862.822,5	440.417,6		-132.835	18.060.966	18.060.966
21		80%	6.043.762	852.170,4	434.980,3		-134.164	19.213.953	19.213.953
22		79%	5.968.215	841.518,3	429.543,1		-135.505	20.349.509	20.349.509
23		78%	5.892.668	830.866,1	424.105,8		-136.860	21.467.621	21.467.621
24		77%	5.817.121	820.214,0	418.668,6		-138.229	22.568.275	22.568.275
25		76%	5.741.574	809.561,9	413.231,3		-139.611	23.651.457	23.651.457

GÜNEŞ PANELİ		TRINA SOLAR	
INVERTER		SUNNY TRIPOWER	
TESİSİN KURULU GÜCÜ	5.642,1	KW	
YILLIK TOPLAM ENERJİ	7.554.702	kWh	
ENERJİ SATIŞ BEDELİ	0,141	\$/yıl	
KARBON EMİSYONU	4.531,0	ton/yıl	
KARBON EMİSYON BEDELİ	120,0	\$	

YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ

Yıl	Yatırımın Geri Dönüşü \$
2	-7.140.776
3	-5.658.980
4	-4.194.383
5	-2.746.998
6	-1.316.835
7	96.095
8	1.491.780
9	2.870.208
10	4.231.368
11	5.575.248
12	6.901.836
13	8.211.120
14	9.503.088
15	10.777.727
16	12.035.026
17	13.274.971
18	14.497.551
19	15.702.752
20	16.890.561
21	18.060.966
22	19.213.953
23	20.349.509
24	21.467.621
25	22.568.275

Tablo 6.20. E grubu geri dönüşüm hesabı

E GRUBU		GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN GERİ DÖNÜŞÜM HESABI							Yatırım Bedeli	Yıllık Gider	Yatırım Geri Dönüşü
Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir	Karbon Geliri	Yatırım Bedeli	Yıllık Gider	Yatırım Geri Dönüşü			
1	100%	100%	7.448.640	1.050.258,2	535.595,6	-8.391.306,1	-108.750	-6.914.202			
2		99%	7.374.154	1.039.755,7	530.239,7		-109.837	-5.454.044			
3		98%	7.299.667	1.029.253,1	524.883,7		-110.936	-4.010.843			
4		97%	7.225.181	1.018.750,5	519.527,8		-112.045	-2.584.610			
5		96%	7.150.694	1.008.247,9	514.171,8		-113.166	-1.175.356			
6		95%	7.076.208	997.745,3	508.815,9		-114.297	216.908			
7		94%	7.001.722	987.242,7	503.459,9		-115.440	1.592.170			
8		93%	6.927.235	976.740,2	498.103,9		-116.595	2.950.420			
9		92%	6.852.749	966.237,6	492.748,0		-117.761	4.291.645			
10		91%	6.778.262	955.735,0	487.392,0		-118.938	5.615.834			
11	90%	90%	6.703.776	945.232,4	482.036,1		-120.128	6.922.975			
12		89%	6.629.290	934.729,8	476.680,1		-121.329	8.213.056			
13		88%	6.554.803	924.227,3	471.324,2		-122.542	9.486.065			
14		87%	6.480.317	913.724,7	465.968,2		-123.768	10.741.990			
15		86%	6.405.830	903.222,1	460.612,3		-125.005	11.980.819			
16		85%	6.331.344	892.719,5	455.256,3		-126.255	13.202.540			
17		84%	6.256.858	882.216,9	449.900,3		-127.518	14.407.139			
18		83%	6.182.371	871.714,3	444.544,4		-128.793	15.594.605			
19		82%	6.107.885	861.211,8	439.188,4		-130.081	16.764.924			
20		81%	6.033.398	850.709,2	433.832,5		-131.382	17.918.084			
21		80%	5.958.912	840.206,6	428.476,5		-132.696	19.054.072			
22		79%	5.884.426	829.704,0	423.120,6		-134.023	20.172.874			
23		78%	5.809.939	819.201,4	417.764,6		-135.363	21.274.477			
24		77%	5.735.453	808.698,8	412.408,6		-136.716	22.358.868			
25		76%	5.660.966	798.196,3	407.052,7		-138.084	23.426.033			

GÜNEŞ PANELİ		TRINA SOLAR	
INVERTER		ABB	
TESİSİN KURULU GÜCÜ	5.642,1	KW	
YILLIK TOPLAM ENERJİ	7.448.640	kWh	
ENERJİ SATIŞ BEDELİ	0,141	\$/yıl	
KARBON EMİSYONU	4.463,3	ton/yıl	
KARBON EMİSYON BEDELİ	120,0	\$/	

YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ

Yıl	Yatırım Geri Dönüşü (\$)
2	-6.914.202
3	-5.454.044
4	-4.010.843
5	-2.584.610
6	-1.175.356
7	216.908
8	1.592.170
9	2.950.420
10	4.291.645
11	5.615.834
12	6.922.975
13	8.213.056
14	9.486.065
15	10.741.990
16	11.980.819
17	13.202.540
18	14.407.139
19	15.594.605
20	16.764.924
21	17.918.084
22	19.054.072
23	20.172.874
24	21.274.477
25	22.358.868

Tablo 6.21. F grubu geri dönüşüm hesabı

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN GERİ DÖNÜŞÜM HESABI										
F GRUBU										
Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir \$	Karbon Geliri \$	Yatırım Bedeli \$	Yıllık Gider \$	Yatırım Geri Dönüşü \$		
1	100%	100%	8.065.670	1.137.259,5	580.425,2	-8.972.947,3	-114.159	-7.369.421		
2		99%	7.985.013	1.125.886,9	574.621,0		-115.300	-5.784.214		
3		98%	7.904.357	1.114.514,3	568.816,7		-116.453	-4.217.336		
4		97%	7.823.700	1.103.141,7	563.012,5		-117.618	-2.668.800		
5		96%	7.743.043	1.091.769,1	557.208,2		-118.794	-1.138.617		
6		95%	7.662.387	1.080.396,5	551.404,0		-119.982	373.202		
7		94%	7.581.730	1.069.023,9	545.599,7		-121.182	1.866.644		
8		93%	7.501.073	1.057.651,3	539.795,5		-122.394	3.341.697		
9		92%	7.420.416	1.046.278,7	533.991,2		-123.618	4.798.349		
10		91%	7.339.760	1.034.906,1	528.187,0		-124.854	6.236.589		
11	90%	90%	7.259.103	1.023.533,5	522.382,7		-126.102	7.656.402		
12		89%	7.178.446	1.012.160,9	516.578,5		-127.363	9.057.779		
13		88%	7.097.790	1.000.788,3	510.774,2		-128.637	10.440.704		
14		87%	7.017.133	989.415,7	504.970,0		-129.923	11.805.167		
15		86%	6.936.476	978.043,1	499.165,7		-131.223	13.151.153		
16		85%	6.855.820	966.670,5	493.361,5		-132.535	14.478.650		
17		84%	6.775.163	955.298,0	487.557,2		-133.860	15.787.645		
18		83%	6.694.506	943.925,4	481.752,9		-135.199	17.078.125		
19		82%	6.613.849	932.552,8	475.948,7		-136.551	18.350.075		
20		81%	6.533.193	921.180,2	470.144,4		-137.916	19.603.484		
21		80%	6.452.536	909.807,6	464.340,2		-139.295	20.838.336		
22		79%	6.371.879	898.435,0	458.535,9		-140.688	22.054.619		
23		78%	6.291.223	887.062,4	452.731,7		-142.095	23.252.318		
24		77%	6.210.566	875.689,8	446.927,4		-143.516	24.431.419		
25		76%	6.129.909	864.317,2	441.123,2		-144.951	25.591.908		

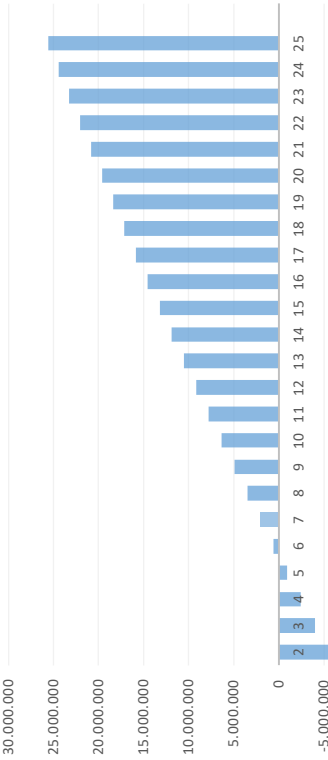
YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ	
Yıl	\$
2	30.000.000
3	25.000.000
4	20.000.000
5	15.000.000
6	10.000.000
7	5.000.000
8	0
9	-5.000.000
10	-10.000.000
11	-15.000.000
12	-20.000.000
13	-25.000.000
14	-30.000.000
15	-35.000.000
16	-40.000.000
17	-45.000.000
18	-50.000.000
19	-55.000.000
20	-60.000.000
21	-65.000.000
22	-70.000.000
23	-75.000.000
24	-80.000.000
25	-85.000.000

Tablo 6.22. G grubu geri dönüşüm hesabı

G GRUBU		Yıl	Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Yıllık Gelir \$	Karbon Geliri \$	Yatırım Bedeli \$	Yıllık Gider \$	Yatırım Geri Dönüşü \$
GÜNEŞ PANELİ		1	100%	100%	7.997.193	1.127.604,2	575.377,2	-8.714.503,5	-112.907	-7.124.429
INVERTER		2		99%	7.917.221	1.116.328,2	569.623,4		-114.036	-5.552.514
TESİSİN KURULU GÜCÜ		3		98%	7.837.249	1.105.052,1	563.869,7		-115.177	-3.998.769
YILLIK TOPLAM ENERJİ		4		97%	7.757.277	1.093.776,1	558.115,9		-116.328	-2.463.206
ENERJİ SATIŞ BEDELİ		5		96%	7.677.305	1.082.500,0	552.362,1		-117.492	-945.835
KARBON EMİSYONU		6		95%	7.597.333	1.071.224,0	546.608,3		-118.667	553.331
KARBON EMİSYON BEDELİ		7		94%	7.517.361	1.059.948,0	540.854,6		-119.853	2.034.280
		8		93%	7.437.389	1.048.671,9	535.100,8		-121.052	3.497.001
		9		92%	7.357.418	1.037.395,9	529.347,0		-122.262	4.941.481
		10		91%	7.277.446	1.026.119,8	523.593,3		-123.485	6.367.709
		11	90%	90%	7.197.474	1.014.843,8	517.839,5		-124.720	7.775.673
		12		89%	7.117.502	1.003.567,7	512.085,7		-125.967	9.165.359
		13		88%	7.037.530	992.291,7	506.331,9		-127.227	10.536.756
		14		87%	6.957.558	981.015,7	500.578,2		-128.499	11.889.851
		15		86%	6.877.586	969.739,6	494.824,4		-129.784	13.224.631
		16		85%	6.797.614	958.463,6	489.070,6		-131.082	14.541.083
		17		84%	6.717.642	947.187,5	483.316,8		-132.393	15.839.195
		18		83%	6.637.670	935.911,5	477.563,1		-133.717	17.118.953
		19		82%	6.557.698	924.635,5	471.809,3		-135.054	18.380.344
		20		81%	6.477.726	913.359,4	466.055,5		-136.404	19.623.355
		21		80%	6.397.754	902.083,4	460.301,8		-137.768	20.847.971
		22		79%	6.317.782	890.807,3	454.548,0		-139.146	22.054.181
		23		78%	6.237.811	879.531,3	448.794,2		-140.537	23.241.969
		24		77%	6.157.839	868.255,2	443.040,4		-141.943	24.411.322
		25		76%	6.077.867	856.979,2	437.286,7		-143.362	25.562.225

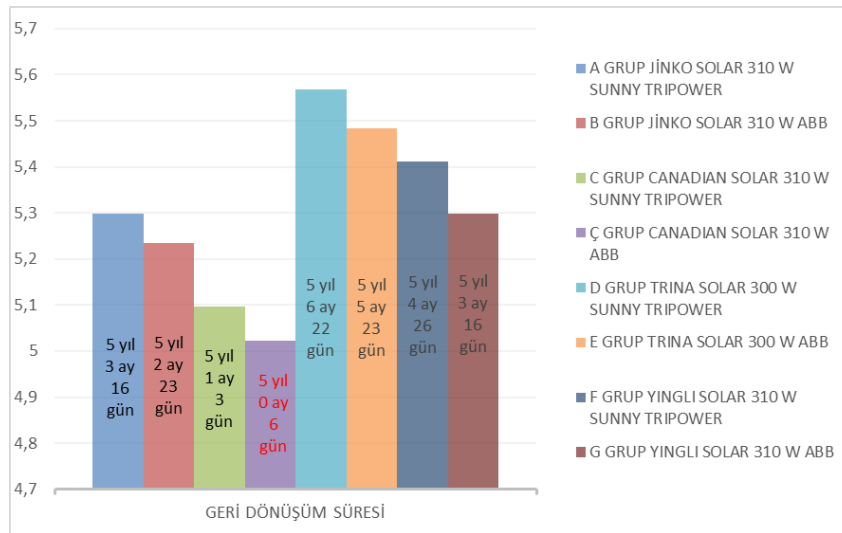
YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ

\$



Şekil 6.4. incelendiğinde A grubunun ekonomik geri dönüşüm süresinin 5 yıl 3 ay 16 gün, B grubunun ekonomik geri dönüşüm süresinin 5 yıl 2 ay 23 gün, C grubunun ekonomik geri dönüşüm süresinin 5 yıl 1 ay 3 gün, Ç grubunun ekonomik geri dönüşüm süresinin 5 yıl 0 ay 6 gün, D grubunun ekonomik geri dönüşüm süresinin 5 yıl 6 ay 22 gün, E grubunun ekonomik geri dönüşüm süresinin 5 yıl 5 ay 23 gün, F grubunun ekonomik geri dönüşüm süresinin 5 yıl 4 ay 26 gün ve G grubunun ekonomik geri dönüşüm süresinin 5 yıl 3 ay 16 gün olarak belirtilmiştir.

Neticeye göre Ç grubunun (Canadian Solar- ABB evirici) amortismanının en az olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.4. Tüm grupların geri dönüşüm süreleri

6.5.4. İç kârlılık oranı (İKO) ile ekonomik analiz

Bir güneş enerjisi santrali yatırımının uygunluk derecesini ortaya koyan hesaplama yöntemleri arasında en önemlilerinden birisi İKO hesabıyla ekonomik analizdir. Bunun yanı sıra “Geri Ödeme Süresi” ile beraber İKO hesabının da uygulanmasının ekonomik analizin güvenilirlik derecesini yükselttiği belirtilmektedir. Bu yöntem, finans kuruluşları tarafından yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. Bu bölümde, çalışmamız boyunca detaylı bir şekilde irdelenen 8 ayrı güneş enerjisi sistemine ait İç Kârlılık Oranı hesaplanarak Tablo 6.23.’te gösterilmiştir.

Tablo 6.23. İç karlılık oranı hesabı

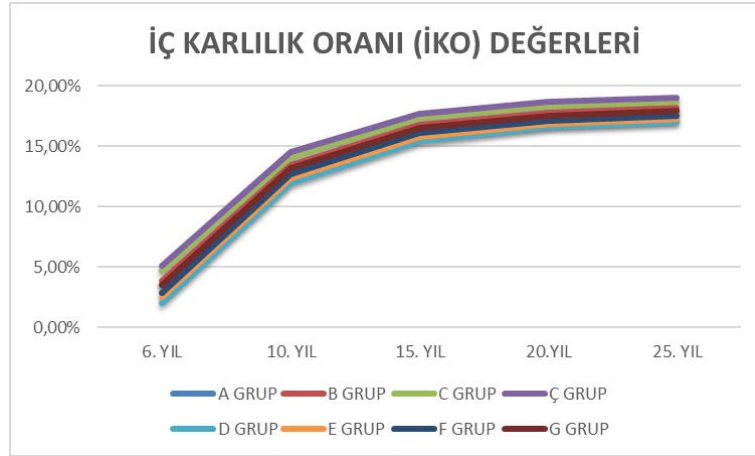
İŞLETME YILINA GÖRE İÇ KARLILIK ORANI HESABI (İKO)							
GRUP	PANEL MARKASI	EVİRİCİ MARKASI	6. YIL	10. YIL	15. YIL	20. YIL	İKO
A	JİNKO SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	3,49%	13,16%	16,53%	17,57%	17,94%
B	JİNKO SOLAR 310 W	ABB	3,86%	13,47%	16,80%	17,82%	18,18%
C	CANADIAN SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	4,67%	14,14%	17,39%	18,37%	18,71%
Ç	CANADIAN SOLAR 310 W	ABB	5,11%	14,51%	17,71%	18,67%	19,00%
D	TRINA SOLAR 300 W	SUNNY TRIPOWER	2,04%	11,96%	15,48%	16,59%	17,00%
E	TRINA SOLAR 300 W	ABB	2,48%	12,32%	15,79%	16,88%	17,28%
F	YINGLI SOLAR 310 W	SUNNY TRIPOWER	2,87%	12,65%	16,08%	17,15%	17,53%
G	YINGLI SOLAR 310 W	ABB	3,50%	13,17%	16,53%	17,57%	17,94%

İKO hesabında, geri ödeme süresi hesabında da görüldüğü üzere, Ç grubu (Canadian Solar-ABB evirici) en yüksek orana sahiptir. İKO hesabı yöntemi kullanılarak bir manada geri ödeme hesabı yönteminin de sağlanması yapılmıştır. Böylece finansal analiz çalışmalarının uygulaması sırasında daha detaylı sonuçlara ulaşılabilmektedir.

6.6. Ekonomik Analiz Sonuçları

Tezimiz kapsamında yapılan ekonomi analizi çalışması için, ekonomik modelleme yöntemleri olarak “İç Kârlılık Oranı” ve “Geri Ödeme Süresi Hesabı” hesaplarından yararlanılmıştır. Bu noktada, bahsi geçen iki çeşit analiz yöntemi ile daha doğru ve daha detaylı bir ekonomik analiz yapılabildiği anlaşılmaktadır. Bu iki hesaplama yönteminin uygulanması sırasında, gelir ve gider kalemleri kullanılarak bir güneş enerji sistemi için gelir-gider kapsamına girebilecek tüm unsurlar göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmamızın daha önceki bölümlerinde de açıklandığı üzere 2017 senesi sonlarında işlemeye konulacak bir güneş enerji sistemi için ekonomik analiz çalışmaları yapılmış olup, ekonomik analizdeki değerlerin tümü 2017 yılının sonları dikkate alınarak kullanılmıştır. Bu değerler piyasada üretim yapan firmalarla sağlanan görüşmeler neticesinde elde edilmiş olup bilhassa “Makine ve Teçhizat” giderleri piyasadaki firmaların yönlendirmesiyle belirlenmiştir. Şekil 6.4.’te sistemlerin geri ödeme süreleri özetlenmiş olup Ç grubunun en kısa sürede geri ödeme özelliği taşıdığı gözlenmektedir. Bu sistem 5. işletme yılında geri ödemesini bitirmekte ve sistemlerin tümü içinde uygulanabilirliği en ekonomik olan sistem olarak ön plana çıkmaktadır. Şekil 6.4.’te sunulan geri ödeme süreleri dağılım oranlarına göre bu sürelerin işletme yılına göre karşılaştırılması sonucunda gruplara ait geri ödeme sürelerinin birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra,

ekonomik analiz çalışmaları sonucunda daha net bulgulara ulaşabilmek için 8 farklı sisteme yönelik “İç Kârlılık Oranı” kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyas neticesinde çalışmamız kapsamında yapılan araştırmalarda 8 farklı sistem arasında “Grup Ç (Canadian Solar-ABB evirici)” sisteminin iç kârlılık oranı en yüksek olan sistem olduğu görülmüştür. Bu noktada, İKO hesabının, aynı zamanda geri ödeme süresi hesabının sağlamasını gerçekleştirdiğini söylemek de mümkündür.

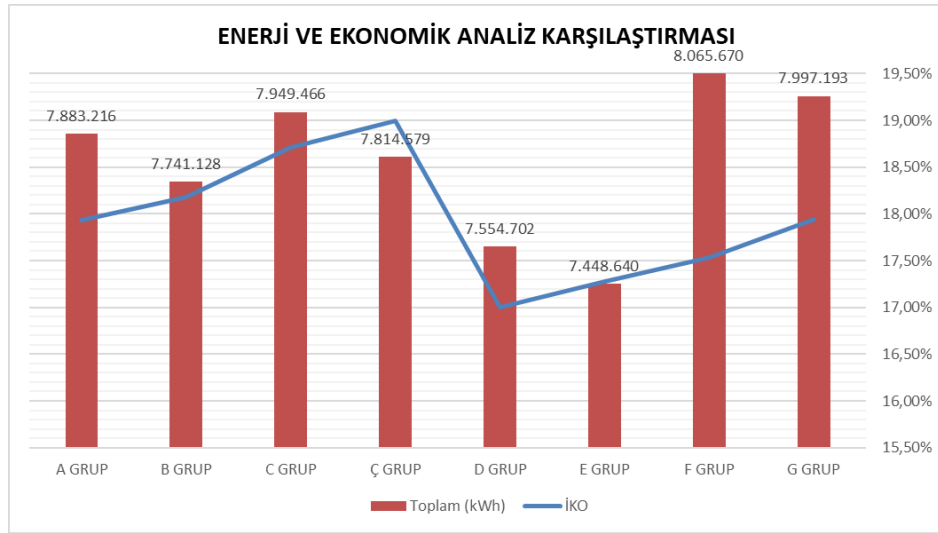


Şekil 6.5. Grupların yıllara göre iç karlılık oranı değişimi

Şekil 6.5.’te sistemlerin iç karlılık oranlarının yıllara göre nasıl bir değişim geçirdiği sergilenmektedir. Grafikte İKO oranı en yüksek olan sistemin en kısa geri ödeme süresine sahip olduğu da göze çarpmaktadır. Finansal analiz yapılırken finans kuruluşları tarafından, bir sistemin ömrünü doldurduğu senedeki İKO oranı o sistemin İKO değeri olarak belirtildiğinden dolayı sistemlerin İKO değerlerinin 6. yılda % 2,04 ile % 5,11 arasında değiştiği söylenebilir. Bir sisteme ait enerji üretim değerlerinin yüksek oluşu o sistemin en verimli sistem olduğu anlamını taşımayabilir. Bu hususta, ekonomik analiz değerleri kıyaslaması ile enerji üretimi kıyaslaması ile mukayesi yapıldığında en iyi grubun, enerji üretim değerlendirmesine göre üretimi en fazla F grubu (SMA Sunny Tripower evirici ve Yingli Solar güneş paneli) değil enerji üretimi sıralamasında 5. sırada olan Ç grubunun (Canadian Solar güneş paneli ve ABB evirici) olduğu görülebilmektedir.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Güneş enerjisi için çağımızın oldukça önem arz eden bir enerji kaynağı olduğu ve yüzyıl boyunca da öyle olacağı ifade edilmektedir. Güneş enerjisi kullanım alanının artışıyla beraber yakın tarihte Türkiye’de uygulamaya konması olası bir santrali ele alan bu çalışmada ekonomik analiz ve enerji analizi bulgularının irdelenmesi sonucu Şekil 7.1.’deki karşılaştırmalı grafik elde edilmiştir.



Şekil 7.1. Enerji ve ekonomik analiz karşılaştırılması

Şekil 7.1. ayrıntılı olarak incelendiğinde, sistemin en yüksek enerji üretimini gerçekleştirmemesine karşın Ç grubunun (Canadian Solar- ABB evirici) İKO oranları kıyas edildiğinde verimi en yüksek sistem olarak ön plana çıktığı gözlenmektedir. Bunun yanı sıra, diğer sistemlerle kıyaslandığında enerji üretiminde en yüksek değere sahip olan F grubuna ait İKO oranının çoğu sisteme nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, Bölüm 5 ve Bölüm 6’ da belirtildiği üzere bir güneş enerji sistemi için ekonomik analiz ve enerji analizi yapılırken enerji üretim değerleri dışında kalan diğer değişkenlerin de detaylı bir şekilde incelenmesine ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

Tezimiz çerçevesinde yaptığımız çalışmalar neticesinde Büyükçekmece İlçesi için verimi en yüksek sistemin Ç grubu (Canadian Solar- ABB evirici) ile elde edildiği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, maliyet ve işletme giderlerinin yatırım dönemi için yatırım kararı alındığında sistemlerin tümü detaylı bir şekilde ele alınmalıdır. Güneş enerjisi sistemleri için teknoloji sahasında yaşanan gelişimlerin hızlı olması sebebiyle, sistemlerin ekonomik analizleri ve enerji analizlerinde çok kısa vakit aralıklarında bile değişiklikler gözlenebilmektedir. Bundan dolayı, yatırım öncesindeki bu düzenlemelerin tümü dikkatle takip edilmelidir.

Türkiye’de elektrik tüketiminde 2015 yılı ile 2016 yılı arasında % 6,82 oranında artış olup iki yıl arasında yıllık 16490 GWh enerji tüketimi farkı oluşmuştur [43].

Bütün bu değerlendirmeler incelendiğinde güneş enerjisi santrallerinin, yakın gelecekte ülkemiz için oldukça önemli bir konuma taşınacağı öngörülmektedir. Bu çalışmayla yakın bir tarihte kurulması muhtemel bir Güneş Enerjisi Santraline (GES) yönelik olarak bir fizibilite çalışmasıyla beraber, hem ekonomik analizi hem de enerji analizi karşılaştırmalı bir şekilde ele alınmıştır [44].

KAYNAKLAR

- [1] http://w3.bilecik.edu.tr/makineveimalat/wpcontent/uploads/sites/27/2017/02/B%C3%B6l%C3%BCm-1_Giri%C5%9F.pdf, Erişim Tarihi: 26.07.2018.
- [2] http://www.robotiksistem.com/gunes_pilleri_nedir.html, Erişim Tarihi: 26.07.2018.
- [3] Büyükçekmece Belediye Meclisi 09.01.2015 tarihli 13 nolu kararı.
- [4] 2014-2015-2016 yılı Büyükçekmece Belediyesi elektrik faturaları.
- [5] www.bcekmece.bel.tr/trtr/Buyukcekmece/SCTilcemizitanialim/Sayfalar/Co%C4%9Frafik-Yap%C4%B1-ve-Fiziki-Yap%C4%B1.aspx, Erişim Tarihi: 11.03.2016.
- [6] www.guessistemleri.com/fotovoltaik-sicaklik.php, Erişim Tarihi: 20.03.2017.
- [7] www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?ke=A&m=ISTANBUL, Erişim Tarihi: 20.04.2017.
- [8] www.eie.gov.tr/YEKrepa/ISTANBUL-REPA.pdf, Erişim Tarihi: 20.05.2017.
- [9] www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/, Erişim Tarihi: 19.11.2016.
- [10] www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_opt/pvgis_solar_optimum_TR.png, Erişim Tarihi: 19.11.2016.
- [11] www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#, Erişim Tarihi: 19.11.2016.
- [12] www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx, Erişim Tarihi: 22.12.2016.
- [13] www.eie.gov.tr/MyCalculator/Aciklamalar.aspx, Erişim Tarihi: 22.12.2016.
- [14] www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/34.aspx, Erişim Tarihi: 22.12.2016.

- [15] www.eie.gov.tr/mycalculator/pages/34.aspx., Erişim Tarihi: 22.12.2016.
- [16] [www.meteonorm.com/.](http://www.meteonorm.com/), Erişim Tarihi: 01.02.2017.
- [17] [www.meteonorm.com/en/.](http://www.meteonorm.com/en/), Erişim Tarihi: 01.02.2017.
- [18] www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465., Erişim Tarihi: 18.03.2017.
- [19] www.teias.gov.tr/Dosyalar/TEIFIBILEHARTEM2013.pdf., Erişim Tarihi: 30.07.2017.
- [20] www.renewableenergyworld.com., Erişim Tarihi:20.08.2017.
- [21] [www.ye-em.com/pv-sol/.](http://www.ye-em.com/pv-sol/), Erişim Tarihi:21.08.2017.
- [22] PV*SOL analiz sonuçları ve PV*SOL help menü.
- [23] <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-panellerinde-kullanilan-bypass-diyotlar/17423#ad-image-0>., Erişim Tarihi:21.08.2017.
- [24] http://www.emo.org.tr/ekler/25c8d745df91e96_ek.pdf., Erişim Tarihi:21.08.2017.
- [25] Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi, 2011.
- [26] www.unienerji.com/arsivler/18., Erişim Tarihi:21.08.2017.
- [27] www.impo.com.tr/Files/TranFiles1/BUML_201322628983.pdf., Erişim Tarihi: 24.08.2017.
- [28] www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf., Erişim Tarihi: 23.09.2017.
- [29] [www.enerjibes.com/medas-elektrik-gunes-enerjisi-santrali/.](http://www.enerjibes.com/medas-elektrik-gunes-enerjisi-santrali/), Erişim Tarihi: 27.09.2017.
- [30] 08.01.2011 tarih 27809 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerji Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun.
- [31] [www.balkayaenerji.com.tr/karbon-ticareti/.](http://www.balkayaenerji.com.tr/karbon-ticareti/), Erişim Tarihi: 20.10.2017.
- [32] [www.enerjienstitusu.com/2016/07/04/500-kw-gunes-enerji-santrali-kurulumu-maliyeti/.](http://www.enerjienstitusu.com/2016/07/04/500-kw-gunes-enerji-santrali-kurulumu-maliyeti/), Erişim Tarihi: 21.10.2017.
- [33] www.solarcelik.com/solar-celik-profilleri-fiyat-listesi., Erişim Tarihi:30.10.2017.

- [34] www.hes.com.tr/images/user_uploaded_files/FiyatListesi.pdf, Erişim Tarihi: 31.10.2017.
- [35] www.yilkomer.com/gunes-santrallerini-neden-yildirimdan-korumaliyiz/, Erişim Tarihi: 04.11.2017.
- [36] www.kosedag.com.tr/katalog.html, Erişim Tarihi: 09.12.2017.
- [37] www.elektrikrehberi.net/teknik_yazilar/yol_ayd.asp, Erişim Tarihi: 09.12.2017.
- [38] www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/Elektrik/Lisanslar/LisansBedelleri, Erişim Tarihi: 10.12.2017.
- [39] www.epdk.org.tr/tr/Dokumanlar/KurulKararlari, Erişim Tarihi: 10.12.2017.
- [40] www.fizibilite.info/yatirim-in-geri-odeme-suresi/, Erişim Tarihi: 11.12.2017.
- [41] www.prezi.com/ufssy0h76wjk/geri-odeme-suresiyatrm-tutaryllk-net-nakit-girisi/, Erişim Tarihi: 11.12.2017.
- [42] aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=111&USER=4049, Erişim Tarihi: 12.12.2017.
- [43] www.enerjienstitusu.com/elektrik-tuketim-istatistikleri/#1486572286185-5821a478-29ed, Erişim Tarihi: 16.12.2017.
- [44] Girgin H., Tuğrul B. 2010 : 5 MW'lık Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretimi İncelemesi Bildiri Kitabı, 469-476, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Evren KOÇAK, 30.10.1987'de Adana Seyhan'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bolu'da tamamladı. 2004 yılında Bolu Atatürk Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2010 yılında bitirdi. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2012 yılında Büyükçekmece Belediyesi'nde göreve başladı akabinde yüksek lisans eğitimine devam etti. Halen Büyükçekmece Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nde raportör olarak görev yapmaktadır.