

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ KAPSAMINDA  
BİNALARDA FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN  
UYGULAMALI ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sercan KESKİNEL**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**MAYIS 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ KAPSAMINDA  
BİNALARDA FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN  
UYGULAMALI ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sercan KESKİNEL  
301121026**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**

**MAYIS 2015**



İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301121026 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sercan KESKİNEL** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ENERJİ VERİMLİLİĞİ KAPSAMINDA BİNALARDA FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN UYGULAMALI ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**            **Doç. Dr. Hatice SÖZER**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Güven KÖMÜRGÖZ**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**            **4 Mayıs 2015**  
**Savunma Tarihi:**        **25 Mayıs 2015**



*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Tüm çalışmalar boyunca sabır ve hoşgörüsünü eksik etmeyen, engin bilgi, birikim ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve beni yönlendiren, kendisiyle çalışabilme fırsatına nail olduğum için gurur duyduğum ve şanslı hissettiğim danışman hocam Sn. Prof. Dr. Sermin ONAYGİL'e, tez kapsamında incelenen sistemle ilgili bilgi ve verileri büyük bir şeffaflıkla paylaşan ve bu süreçte bana destek olan Prokon-Ekon Şirketler Grubu Genel Müdürü Sn. Murat KÖĞMEN'e, çalışma boyunca bana her türlü yardımı ve kolaylığı sağlayan, bir parçası olmaktan gururlu ve mutlu olduğum tüm ELSE Enerji ailesine, beni her zaman büyük bir sabırla dinleyen, bilgi ve birikimlerini paylaşan, özellikle tezin araştırma ve literatür kısımlarındaki desteğini hiçbir zaman unutmayağım Sn. Ebru ACUNER'e, tüm çalışmalarım boyunca yardımlarını benden esirgemeyen arkadaşlarıma ve en önemlisi beni her zaman destekleyen, her zaman yanımda olduklarını bildiğim, bu günlere gelmemdeki en büyük paya sahip aileme teşekkür ederim.

Güneş enerjisi konusunda büyük bir potansiyeli bulunan ve önünde uzun bir yol olan Türkiye'nin, bu büyük potansiyeli gerçeğe dönüştürmesi ve bu alanda dünyanın önemli oyuncularından biri haline gelmesi temennisiyle,

Mayıs 2015

Sercan KESKİNEL  
Çevre Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xvii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Binalarda Enerji Verimliliği .....	2
1.2 Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği .....	3
1.3 Tezin Amacı .....	4
1.4 Literatür .....	4
<b>2. FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİ</b> .....	<b>11</b>
2.1 Genel Bilgiler .....	11
2.2 Fotovoltaik Hücre Teknolojileri .....	12
2.2.1 Birinci nesil fotovoltaik hücreler .....	12
2.2.2 İkinci nesil fotovoltaik hücreler .....	13
2.2.3 Üçüncü nesil fotovoltaik hücreler .....	14
2.3 Fotovoltaik Hücre Tarihi .....	14
2.4 Fotovoltaik’de Dünyadaki Durum .....	17
2.5 Fotovoltaik’de Türkiye’deki Durum .....	19
2.6 Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Projelendirmesi .....	21
2.6.1 Alan seçimi ve özellikleri .....	21
2.6.2 Fotovoltaik güç sistemi tasarımı .....	22
<b>3. MEVCUT FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN TEKNİK ANALİZİ</b> .....	<b>29</b>
3.1 Sistem Tasarımı .....	30
3.1.1 Fotovoltaik panel.....	30
3.1.2 Evirici .....	31
3.1.3 Tasarım.....	31
3.1.4 Sistem üretim öngörüsü .....	39
3.1.5 Sistem performans oranı .....	44
<b>4. MEVCUT FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN MALİ ANALİZİ</b> .....	<b>55</b>
4.1 Bina Elektrik Enerjisi Tüketimi ve Elektrik Giderleri .....	55
4.2 Toplam Tüketimde FGS Payı.....	58
4.3 FGS ile Üretilen Elektrik Enerjisi Satış Gelirleri.....	613
4.4 FGS ile Elde Edilen Toplam Getiri .....	64
4.5 Mali Analiz.....	68
4.5.1 Şimdiki değer yöntemi (PW) .....	74
4.5.2 Gelecek değer yöntemi (FW) .....	74
4.5.3 Yıllık değer yöntemi (AW) .....	75

4.5.4 Fayda/maliyet oranı (BCR) .....	75
4.5.5 Geri dönüşüm oranı (IRR).....	76
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>79</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>87</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>89</b>

## KISALTMALAR

<b>A</b>	: Amper
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>ABD\$</b>	: Amerika Birleşik Devletleri Doları
<b>AC</b>	: Alternatif Akım
<b>AW</b>	: Yıllık Değer
<b>a-Si</b>	: Amorf Silisyum
<b>BAPV</b>	: Binalara Uygulanan Fotovoltaik
<b>BIPV</b>	: Binalara Entegre Fotovoltaik
<b>BCR</b>	: Fayda/Maliyet Oranı
<b>CdS</b>	: Kadmiyum Sülfür
<b>CdTe</b>	: Kadmiyum Tellür
<b>CIS</b>	: Bakır İndiyum Selenür
<b>CIGS</b>	: Bakır İndiyum Galyum Diselenür
<b>CHP</b>	: Kojenerasyon
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>CuS</b>	: Bakır Sülfür
<b>c-Si</b>	: Kristal Silikon
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>DSSC</b>	: Boyar Maddeli Hücreler
<b>E</b>	: Enerji
<b>EPDK</b>	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
<b>EPIA</b>	: Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Birliği
<b>ETKB</b>	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<b>FGS</b>	: Fotovoltaik Güç Sistemleri
<b>FW</b>	: Gelecek Değer
<b>GaAs</b>	: Galyum Arsenür
<b>GSYİH</b>	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
<b>GWh</b>	: Gigavat-Saat
<b>GWp</b>	: Gigavat-Pik
<b>H</b>	: Küresel Işınım Değeri
<b>HIT</b>	: Hibrit Hücreler
<b>IEA</b>	: Uluslararası Enerji Ajansı
<b>IRR</b>	: Geri Dönüşüm Oranı
<b>IRENA</b>	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
<b>InGaAs</b>	: İndiyum Galyum Diselenür
<b>IKD</b>	: Kısa Devre Akımı
<b>I<sub>nom</sub></b>	: Nominal Akım
<b>KDV</b>	: Katma Değer Vergisi
<b>Kg</b>	: Kilogram
<b>kVA</b>	: Kilo Volt Amper
<b>kW</b>	: Kilovat
<b>kWh</b>	: Kilovat-Saat
<b>kWp</b>	: Kilovat-Pik
<b>LID</b>	: Işınımına Bağlı Bozulma

<b>MARR</b>	: Minimum Geri Dönüşüm Oranı
<b>mc-Si</b>	: Çok Kristalli Silikon
<b>MPP</b>	: Maksimum Güç Noktası
<b>MW</b>	: Megavat
<b>MWh</b>	: Megavat-Saat
<b>MWp</b>	: Megavat-Pik
<b>M</b>	: Metre
<b>M<sup>2</sup></b>	: Metrekare
<b>OPEC</b>	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
<b>P<sub>maks</sub></b>	: Maksimum Güç
<b>PW</b>	: Şimdiki (mevcut) Değer
<b>sc-Si</b>	: Tek Kristalli Silikon
<b>SPO</b>	: Sistem Performans Oranı
<b>SPP</b>	: Basit Geri Dönüşüm Oranı
<b>STK</b>	: Standart Test Koşulları
<b>TC</b>	: Türkiye Cumhuriyeti
<b>TCMB</b>	: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
<b>TEDAŞ</b>	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
<b>TEP</b>	: Ton Eşdeğer Petrol
<b>TL</b>	: Türk Lirası
<b>TOE</b>	: The tonne of oil equivalent (TEP)
<b>TWh</b>	: Teravat-Saat
<b>U<sub>AD</sub></b>	: Açık Devre Gerilimi
<b>U<sub>nom</sub></b>	: Nominal Gerilim
<b>V</b>	: Gerilim
<b>W</b>	: Vat
<b>Wp</b>	: Vat-Pik
<b>€</b>	: Avro
<b>°C</b>	: Santigrad Derece

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Örnek bir güneş paneli elektriksel verileri. ....	24
Çizelge 2.2 : Örnek bir evirici elektriksel verileri. ....	25
Çizelge 2.3 : İstanbul'a ait geçmişe dönük sıcaklık değerleri. ....	25
Çizelge 3.1 : Sistemde kullanılan güneş paneline ait elektriksel özellikler. ....	30
Çizelge 3.2 : Sistem dahilinde kullanılan eviriciye ait elektriksel veriler. ....	31
Çizelge 3.3 : Ankara'ya ait geçmişe dönük sıcaklık değerleri. ....	32
Çizelge 3.4 : Sistem kurulumundan itibaren kaydedilen üretim ve ışınım verileri. ..	45
Çizelge 3.5 : Işınım değerlerinin +%3,3 oranında düzeltmeli ve düzeltmesiz değerleri. ....	49
Çizelge 3.6 : Sistemde kaydedilen gerçek ışınım verileri ile yataya gelen ışınım değerlerinden mücbir zamanlardaki verilerin çıkarılması sonrası elde edilen ışınım değerlerinin karşılaştırılması. ....	51
Çizelge 4.1 : İlgili binanın yıllık şebeke elektrik enerjisi tüketim değerleri ve giderleri. ....	55
Çizelge 4.2 : Sistemin TEDAŞ tarafından onaylanmasından sonra (Temmuz 2013), binaya ait şebeke elektrik tüketimi, FGS elektrik üretimi, toplam elektrik tüketimi ile toplam tüketim içinde FGS ve şebeke elektrik enerjisinin payları. ....	58
Çizelge 4.3 : Sistemin TEDAŞ tarafından onayının yapılması sonrası (Temmuz 2013), aylık bazda şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisi değerleri ve elde edilen gelir tutarları. ....	62
Çizelge 4.4 : Temmuz 2013 sonrası, aylık bazda ortalama elektrik enerjisi alış birim fiyatı, binanın elektrik ihtiyacı dahilinde kullanılan FGS elektrik üretimi ve FGS kaynaklı getiri. ....	65
Çizelge 4.5 : FGS ile sağlanan toplam getiri. ....	67
Çizelge 4.6 : Mali analizlerde kullanılacak veriler. ....	69
Çizelge 4.7 : Öngörülen FGS Yıllık Toplam Getiri Değerleri. ....	69
Çizelge 5.1 : Alternatif senaryoya göre elde edilebilecek gelir. ....	80
Çizelge 5.2 : Çeşitli ülkelerin FGS için belirledikleri destek mekanizmaları. ....	82





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Çeşitli Ülkeler için Enerji Yoğunluğu Değerleri (IEA, 2015) .....	1
Şekil 2.1 : Fotovoltaik Hücre Teknolojilerinin Sınıflandırılması (IRENA, 2012). ...	12
Şekil 2.2 : Laboratuvar ortamında kaydedilen en verimli fotovoltaik hücrelerin zaman içinde gelişimi (Woodhouse ve diğ., 2013).....	17
Şekil 2.3 : Küresel Fotovoltaik Kurulu Güç Kümülatif Değişimi (EPIA, 2014). ....	18
Şekil 2.4 : Bölgelere Göre Küresel Yıllık Fotovoltaik Kurulum Gelişimi (EPIA, 2013). .....	19
Şekil 2.5 : Avrupa Ülkelerinde Fotovoltaik Güneş Elektriği Potansiyeli (Avrupa Komisyonu, 2006).....	20
Şekil 3.1 : Binanın ve fotovoltaik güç sisteminin kuşbakışı görünümü. ....	29
Şekil 3.2 : Binanın yandan görünümü. ....	30
Şekil 3.3 : Birinci toplama panosuna ait Tek Hat Şeması. ....	35
Şekil 3.4 : İkinci toplama panosuna ait Tek Hat Şeması. ....	36
Şekil 3.5 : Üçüncü toplama panosuna ait Tek Hat Şeması. ....	37
Şekil 3.6 : Ana toplama panosuna ait Tek Hat Şeması.....	38
Şekil 3.7 : Sistem için yapılan simülasyon raporundaki verilen kayıp diyagramı. ...	40
Şekil 3.8 : Sistem başlangıcından itibaren kaydedilen Üretim& Işınım verileri. ....	47
Şekil 3.9 : Sistemin 5 Mart 2015 gününe ait elektrik üretim grafiği. ....	48
Şekil 3.10 : Mart 2015 zamanlı Ankara/Kazan bölgesi için tahmin edilen yıllık küresel ışınım değeri. ....	53
Şekil 4.1 : İlgili binanın yıllara göre değişen elektrik enerjisi tüketim değerleri. ....	57
Şekil 4.2 : İlgili binanın yıllara göre değişen elektrik enerjisi giderleri. ....	57
Şekil 4.3 : İlgili binanın yıllara göre değişen birim tüketim başına elektrik enerjisi giderleri. ....	57
Şekil 4.4 : 2013 Temmuz sonrası binaya ait şebeke kaynaklı elektrik tüketim, FGS elektrik üretim ve toplam tüketim değerleri.....	59
Şekil 4.5 : 2013 Temmuz sonrası toplam elektrik enerjisi tüketiminde FGS ve şebeke elektrik enerjisi pay oranları.....	60
Şekil 4.6 : FGS ile Üretilen Elektrik Enerjisi Kullanım Oranları.....	61
Şekil 4.7 : 2013 Temmuz sonrası şebekeye verilen elektrik enerjisi miktar ve elde edilen gelir tutarları. ....	63
Şekil 4.8 : 2013 Temmuz sonrası aylık ortalama elektrik alış birim fiyatları (TL/kWh) (KDV Hariç). ....	65
Şekil 4.9 : Mevcut Fotovoltaik Güç Sistemi Nakit Akış Diyagramı. ....	72



# ENERJİ VERİMLİLİĞİ KAPSAMINDA BİNALARDA FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN UYGULAMALI ANALİZİ

## ÖZET

Enerji verimliliği ve daha spesifik olarak binalarda enerji verimliliği konusunda fotovoltaik güç sistemlerinin binaların enerji verimliliğini ne ölçüde artırabileceği ve şebeke elektrik enerjisine olan bağımlılıklarını ne ölçüde azaltılabileceğinin araştırıldığı bu tez kapsamında, 2011 yılında yayınlanan ve 2013 yılında güncellenen *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* kapsamında Mayıs 2013'te kurulumu tamamlanan ve Temmuz 2013'te onayı yapılan Prokon-Ekon Şirketler Grubu'nun Ankara/Kazan'daki binasına çatı üzeri olarak uygulanan fotovoltaik güç sistemi teknik ve mali yönden incelenmiştir. Sistemin yatırım maliyeti, üretimi, toplam getirisi ve performansı dikkate alınarak Türkiye şartlarında bu gibi projelerin yapılabilirlik olasılıkları analiz edilmiştir. 2012 yılında Resmi Gazete'de yayınlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ile Türkiye'nin enerji verimliliği konusunda belirlediği hedeflere ulaşım hususunda fotovoltaik güç sistemlerinin nasıl yarar sağlayabileceği de araştırılmıştır.

Sistemin onay tarihi olan Temmuz 2013 sonrası onsekiz aylık dönem boyunca, binanın elektrik enerjisi tüketimi ve fotovoltaik güç sistemi tarafından üretilen elektrik enerjisi değerleri dikkate alınarak sistem mali yönden incelenmiştir. Yapılan mali analizler ve incelemeler sonrasında sistemin ekonomik olarak uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan hesaplar sonrasında, sistemin on seneden daha az bir süre içerisinde kendisini geri ödeyebileceği öngörülmüştür.

Fotovoltaik hücre teknolojileri ile fotovoltaik hücrelerin geçmişten günümüze gelişimi, bir fotovoltaik güç sisteminin örnek bir güneş paneli ve evirici ile nasıl tasarlanacağı, bir fotovoltaik güç sisteminin performans oran hesabı gibi konular tez kapsamında incelenen konulardan bazılarıdır. Özellikle fotovoltaik güç sistemleri için çok önemli ve sıklıkla kullanılan bir parametre olan Sistem Performans Oranı'nın nasıl hesaplanacağı ve profesyonel yazılımlar vasıtasıyla ne ölçüde doğru olarak öngörüldüğü açıklanmıştır. Tez kapsamında incelenen mevcut fotovoltaik güç sisteminin 2014 yılı için Sistem Performans Oranı hesap edilmiş ve gerçek ölçüm değerleri ile tasarım öncesi öngörülen oranların elde edilip edilemediği irdelenmiştir.

Enerjide dışa bağımlılığı günden güne artan Türkiye için, yükselen enerji talebi gerçeği ile birlikte fotovoltaik güç sistemleri gibi enerji kaynağı temiz ve sonsuz olan bir teknolojiye nasıl kazanımlar elde edebileceği, bu kazanımları nasıl ve ne ölçüde maksimize edebileceği de bu tez kapsamında araştırılmıştır. Fotovoltaik güç sistemlerinde yabancı ülkelerde verilen destek türleri ile Türkiye'deki destekler karşılaştırılarak teşvikler ve destekler konusunda da önerilerde bulunulmuştur.



# APPLIED ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS IN BUILDINGS WITHIN THE SCOPE OF ENERGY EFFICIENCY

## SUMMARY

In this thesis, photovoltaic power systems in buildings is evaluated within the scope of energy efficiency with an existing rooftop photovoltaic system is located in Ankara province of Turkey. The photovoltaic power system was installed in May 2013 and approved in July 2013 by TEDAŞ (Turkish Electricity Distribution Company). Since that time the system has been producing electricity and the produced electricity has been using to decrease electricity demand and to increase electricity independence of the building. The building has been using the electricity produced by photovoltaic power system and the electricity of the grid simultaneously. While the produced electricity is higher than electricity demand of the building, remaining electricity can be sold within the legislation which named *The Legislation Regarding to Unlicensed Electricity Production on Electricity Market* published in 2011 and updated in 2013 by EPDK (Republic of Turkey Energy Market Regulatory Authority).

26% of primary energy demand and 43% of total electricity consumption was consumed by building sector in 2012 in Turkey. Because of the energy demand and the total electricity consumption in Turkey is increasing year after year, building sector is getting more attention as one of the main responsible with its large proportions there. Thence some targets have set in *Energy Efficiency Strategy Document* which is published in 2012 to increase energy efficiency and decrease energy intensity which was recorded as 0,19 TOE/1000 2005 US\$ in 2012, higher than most of developed countries and decrease external dependency on energy as well. In the document specific targets regarding the building sector have set. One of the most remarkable targets was “at least ¼ of the existing building stock in 2010 will provide at least 20% of the annual energy needs from renewable energy sources and will become sustainable and eco-friendly buildings until 2023.” Photovoltaic power systems will be one of the most important factors there to achieve the targets.

The basic fundamentals of photovoltaics, the history and the classifications of photovoltaic cells, state-of-the-art photovoltaic modules, the main components of photovoltaic power systems, the designing criterias of photovoltaic power systems have been examined in this study. First generation, second generation and third generation of photovoltaic cells were explained with subtopics and necessary informations. Furthermore an example of how to design photovoltaic power systems was carried out with the help of technical and electrical values of a random photovoltaic module and a solar inverter. While designing the compatibility of the photovoltaic module and solar inverter, the climate features have also been taking into account as it should be.

The current status of photovoltaic power systems whole around the world has also been examined in this study. The cumulative global installed capacity is announced as around 137 GW in 2013 by EPIA. When it comes to the annual installed capacity, it can be seen an exponential effect in recent years. In present case Germany is still the

first country in world in relation with the cumulative installed capacity. But it can be seen that especially China and USA will capture the level of Germany and will pass its level in upcoming years. The cumulative installed capacity of Turkey regarding photovoltaic power systems is very small when it is compared to those countries mentioned above.

The differences of photovoltaic power system applications between rooftop and field projects were also explained in the study. Various examples of using and styles of the rooftop photovoltaic power system applications were examined as well. Current status of the Building Integrated Photovoltaic (BIPV) products were also researched.

Researchs and studies from around the world related to energy efficiency topic, energy efficiency in buildings specifically, low carbon sustainability, renewable energy and solar photovoltaic applications, decreasing carbon levels and emissions, regulation and targets published by different states and countries to improve energy efficiency and life standards etc. have been examined in this study, additionally.

Performance Ratio, which is very important parameter of a photovoltaic power system shows the relation between global irradiation and the electricity production of a system, was calculated with the values obtained from the pyranometer which is established on site. The comparison between the simulation report which was created by a professional simulation program before installation of the photovoltaic power system and the real Performance Ratio of the system was carried out. While the Performance Ratio simulated before installation of the system was %82,4, the Performance Ratio with the recorded values by pyranometer calculated as %85,75. Furthermore with the values obtained from the pyranometer, the reliability of the simulation program related to the global irradiance value has been researched. Thanks to the comparison it is seen that the simulated irradiance levels by simulation program are lower than the irradiance values recorded by pyranometer. Additionally because of the irradiance levels are differs by versions of the simulation program, the differences of the irradiance values between updated version and previous versions of the program has been examined.

The compatibility of the photovoltaic modules and solar inverters used in photovoltaic power systems was examined in technical analysis of the photovoltaic power system. Polycrystalline cell technologies was chosen to use within the project and totally of 2024 solar modules each has 245 Wp power capacity have been installed. Regarding the solar inverter, string solar inverter technology was chosen to use and total of 22 inverters each has 20 kWe power capacity has been installed within the project. The equations and calculations which are necessary to design of photovoltaic power systems have been done. The details related to connection of the system for instance as Single Line Diagrams and any other specifications have been presented additionally. In the total DC capacity of the system was designed as 495,88 kWp and AC capacity of the system was designed as 440 kWe.

The feasibility of this kind of projects is investigated by taking into account of initial cost of the project, total profits and gainings, production values and Performance Ratio (PR) of the system. Technical and cost analysis of the system have been carried out in addition as well. Considering all those analyses, the potential benefits of photovoltaic power systems to reach the targets set by Turkey in respect of energy efficiency has been studied. Turkey's energy efficiency targets published in 2012 in a report named *Energy Efficiency Strategy Document*.

In the matter of cost analysis five different analysis methods which are *Present Worth (PW)*, *Future Worth (FW)*, *Annual Worth (AW)*, *Benefit/Cost Ratio (BCR)* and *Internal*

*Rate of Return (IRR)* have been used. As a result the photovoltaic power system analysed in this thesis was found as feasible in all of the cost analysis methods mentioned above. The payback period of the system was predicted lower than 10 years according to the calculations. While the initial cost of the system was 1.389.052,22 TL, total gaining of the system was calculated as 230.864,64 TL in 18 months. It is seen that the photovoltaic power system has paid %16,62 of its initial cost so far. Beyond the cost analysis methods mentioned above, some alternatives related to the project was evaluated. In current status while the building needs electricity and the photovoltaic power system produces the electricity, the produced electricity by photovoltaic power system uses for the consumption of the building. In alternative scenario, with an additional Medium-Voltage Transformator and Medium-Voltage Cells, the produced electricity by photovoltaic power system could be sold to the grid directly. Comparison between the current status and the alternative scenario, it is seen that the payback period of the system would be shorter in alternative scenario although the additional cost of Medium-Voltage Transformator and the Cells. While the Simple Payback Period –SPP- of current status was 8,83 years, it would be 7,55 years in alternative scenario.

Incentives and supports of different countries to increase using and installing of photovoltaic power systems have also been researched in this study. It can be seen that the incentives related to photovoltaic power systems in buildings are generally specified in many countries. The incentives differ by a country to another according to the capacity of the systems, application type or photovoltaic technology. While most of the incentives are feed-in tariff supports, there are also another type of incentives in many countries such as capital support, tax reduction and tax immunity etc. Considering those incentives of other countries, legislation of Turkey which named *The Legislation Regarding to Unlicensed Electricity Production on Electricity Market* has been compared. The legislation in Turkey provides a feed-in tariff value by 0,133 US\$/kWh but there is no any other incentive beyond that feed-in tariff value. Furthermore the incentive for a photovoltaic power system has a capacity of 1 kWp or 1.000 kWp is equal and the procedures are the same, a suggestion offered to develop and extend the legislation. Another questionable feature of the legislation is that it is not clear what will be happened to produced energy by photovoltaic power system after 10 years. This time period is shorter than any other countries and here is a polemical side of the legislation. A legislation is extended and developed to increase and make easier of the applications and installing of photovoltaic power systems would be beneficial for Turkey to improve its energy efficiency and to decrease its energy intensity within the scope of its targets and strategies published in *Energy Efficiency Strategy Document* for upcoming years.

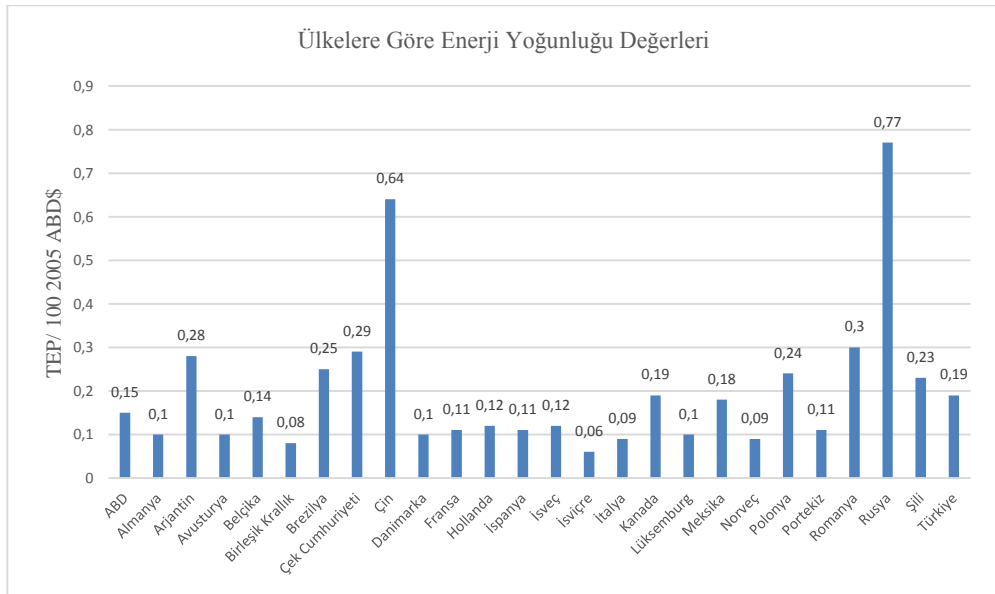




## 1. GİRİŞ

Enerji verimliliği, refah düzeyinin değiştirilmeden aynı işin daha az enerji ile yapılması sağlanarak, enerjinin daha verimli kullanılmasına yönelik bir terimdir. Küresel çapta artan enerji talebine rağmen enerji kaynaklarının sınırlı olması sebebiyle tüm dünyada gündeme gelmiş ve yıllara bağlı olarak da önemi artmıştır. Ülkeler daha az enerji harcayarak daha fazla iş yapabilme ve daha fazla konfor elde edebilme yolunda enerji verimliliklerini artırmayı hedeflemektedirler.

Enerji verimliliği konusunda enerji yoğunluğu önemli bir terimdir. Enerji verimliliğinin ölçümü olarak kabul edilen enerji yoğunluğu, birim üretim başına tüketilen enerji miktarıdır. Dolayısıyla enerji yoğunluğunun düşük olması enerjinin verimli kullanıldığı anlamına gelir. Ülkeler arası enerji verimliliği karşılaştırılmasında da kullanılan enerji yoğunluğu, Gayri Safi Yurtiçi Milli Hasıla (GSYİH) başına tüketilen enerji miktarı olarak gösterilmektedir. Ülkeler buna göre enerji yoğunluklarını azaltmayı amaçlamaktadırlar. Şekil 1.1'de çeşitli ülkelerin enerji yoğunluğu değerlerini gösteren grafik verilmiştir (IEA, 2015).



Şekil 1.1: Çeşitli Ülkeler için Enerji Yoğunluğu Değerleri (IEA, 2015)

Türkiye'nin mevcut birincil enerji yoğunluğu değeri 2012 yılı için 0,19 TEP/1000 2005 ABD\$ olarak kaydedilmiştir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 2012 yılında Resmi Gazete'de yayınlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde de "2023 yılına kadar, elektrik enerjisi yoğunluğunu en az %20 azaltmak amacıyla talep tarafı yönetimi konusunda tedbirler geliştirilecektir" başlıklı stratejik amaç yer almıştır.

Türkiye; enerji yoğunluğunu düşürmeyi, dolayısıyla enerjiyi daha verimli kullanmayı amaçlamakta, buna bağlı olarak da günümüzde ve gelecekte buna uygun enerji politikaları uygulamayı hedeflemektedir. Enerjinin kullanım alanlarına ve sektörlerine yönelik farklı enerji politikaları ve hedefleri belirlenmiş ve bu yönde adımlar atılmaya başlanmıştır. Enerji verimliliği çalışmaları kapsamında binalarda kullanılan enerjinin verimliliği konusu da bu doğrultuda önem kazanmıştır.

### **1.1 Binalarda Enerji Verimliliği**

Dünya toplam enerji tüketiminin büyük bir oranı binalarda gerçekleşmektedir. Bunun bir uzantısı olarak da binalarda enerji verimliliği konusu önemli bir konu haline gelmiş ve binalarda enerji verimliliği ile ilgili birçok bilimsel araştırma yapılmaya başlanmıştır. Bir binanın enerji verimli olması, o binanın inşaat aşamasıyla başlayıp, kullanım ömrünü içeren ve binanın yıkımına kadar geçen zamanı kapsayan uzun bir süreçtir. İnşaat aşamasında kullanılacak olan malzemelerin seçimi, binanın yapılacağı bölgenin özellikleri, binanın yönü ve konumu, binada yaşayanların kullanım alışkanlıkları bir binanın enerji verimli olup olmamasını etkileyen faktörlerden bazılarıdır. Binaların enerji kullanım şeklini etkileyen tüm bu faktörlerin birleşimi optimum verimi sağlarken, bu faktörlerin herhangi birisinin eksik kalması elde edilebilecek maksimum verime ulaşılmasını anlamına gelmektedir. Ayrıca bir binanın enerji verimli olması, atmosfere daha az karbondioksit gazı (CO<sub>2</sub>) salımı ve dolayısıyla tüm insanlık için daha sürdürülebilir bir yaşam demektir.

Yön, konum, gölgelenme, pasif ısınma vb. pasif sistemler, solar radyasyon, izolasyon, camlama, enerji talebi gibi parametreler, bir binanın enerji verimliliğini etkileyen önemli tasarım kriterlerinden bazılarıdır. Bir binanın enerji verimli olması tasarımdan itibaren başlayan bir süreç olduğu için, yön ilk önemli etkenlerden biridir. Yön konusu içerisinde de güney yönü önemli bir parametredir. Binaların yönünün enerji verimliliğine olan etkisi konusundaki bir çok araştırma ve makalelerdeki bulgular da

bunu doğrular niteliktedir. Binanın yönünün ya da en büyük yüzeyinin ya da pencerelerinin güneye doğru bakması, binanın gelecekteki enerji talebini azaltması ve binanın daha enerji verimli olması açısından başlangıç aşaması için en verimli tercihtir. Binanın güneye doğru olarak tasarlanması, kış mevsiminde daha fazla ısı kazanımı neticesinde enerji kullanım maliyetlerini azaltacak ve dolayısıyla binanın yaşam boyu maliyetini de düşürecektir. Ayrıca güney yönü, gelecekte tesis edilebilecek fotovoltaik güç sistemi uygulamalarında maksimum verim elde edilebilmesini sağlaması sebebiyle de önemlidir. Tasarım süreci bir projenin ilk aşaması olduğu için, bu tür enerji verimliliği uygulamalarının binalara uygulanması açısından, tasarım sürecinin önemi artmaktadır (Pacheco ve diğ., 2012).

Pasif tasarım sistemleri ile ilgili yapılan bir çalışmada ise geniş tarafı kuzey-güney eksenine bakan binalar için güneşlik, tente vb. sabit sistemlerin güneş ışınlarının geçişi ve ışınım konularında binaya yarar sağladığı ve özellikle yaz dönemindeki soğutma ihtiyacını azaltmaya yardımcı olduğu belirtilmiştir. Ek olarak tasarım sürecinde alınacak önlemler sayesinde binanın tüm kullanım ömrü boyunca ısıtma ve soğutma ihtiyacının azaltılabileceği ve dolayısıyla binanın enerji verimliliğinin artırılacağı da belirtilmiştir (Sözer, 2010).

## **1.2 Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği**

Son yıllarda önemli ekonomik atılımlar yakalayan ve bununla bağlantılı enerji talebi günden güne artan Türkiye için de makro anlamda enerji verimliliği ve spesifik anlamda binalarda enerji verimliliği üstünde durulması gereken konular haline gelmiştir.

2002 yılında yaklaşık 80 milyon TEP olan Türkiye birincil enerji talebi, 2012 yılında yaklaşık %50 oranında artarak 120,1 milyon TEP’e ulaşmıştır. Söz konusu değer 2023 yılına kadar %55 daha artarak 218 milyon TEP’e ulaşması beklenmektedir. Mevcut durumda toplam birincil enerji talebinin %26’sı konut ve hizmet sektöründe gerçekleşmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2015 Plan ve Bütçe Komisyonu).

Aynı dönemde Türkiye’nin elektrik enerjisi tüketimi de yüksek artışlar göstermiştir. 2002 yılında toplam elektrik enerjisi tüketimi 132,6 milyar kWh iken, bu değer %53,8 oranında artarak 2013 yılında 246,4 milyar kWh’e ulaşmıştır (ETKB, 2015 Plan ve Bütçe Komisyonu Sunumu). Elektrik enerjisinin sektörlere göre dağılımına

bakıldığında da, konut ve hizmet sektörünün payının %43 olduğu görülmektedir (Türkiye'nin Enerji Verimliliği Haritası ve Hedefler, 2012).

Bu doğrultuda hali hazırda birincil enerji ve elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir paya sahip olan binaların enerji verimliliklerinin iyileştirilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde "Enerji verimliliği yüksek ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanan çevre dostu binaları yaygınlaştırmak" stratejik amacı yer almıştır. Söz konusu stratejik amaç içerisinde de "2010 yılındaki yapı stoğunun en az  $\frac{1}{4}$ 'ü 2023 yılına kadar, yıllık enerji ihtiyacının en az %20'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından temin eden çevre dostu sürdürülebilir yapı haline gelecektir" başlıklı bir stratejik hedef belirlenmiştir. Buna göre yenilenebilir enerji kaynakları kullanan çevre dostu sürdürülebilir binaların yapımı 2017 yılına kadar özendirilecek, bu tarihten itibaren de kademeli olarak zorunlu hale getirilecektir. Aynı strateji belgesi içerisinde binalarda azami yıllık enerji tüketimi ile atmosfere verilebilecek CO<sub>2</sub> salım miktarının belirlenmesi ve bu sınır değerlerini aşacak yeni binaların yapımına izin verilmeyeceği ifadeleri de yer almaktadır.

### **1.3 Tezin Amacı**

Yapılan incelemeler ve çalışmalar doğrultusunda bu tezin amacı; Türkiye'nin enerji verimliliği konusunda belirlediği stratejik amaçlar ve hedefler doğrultusunda, binalarda yenilenebilir enerji uygulamalarından fotovoltaik güç sistemlerinin incelenmesi, bu uygulamalar ile binalarda enerji verimliliğinin ne ölçüde artırılacağı, bu uygulamaların teknik ve mali analizleri yapılarak günümüz ve gelecek koşullarında yapılabilirlik oranlarının incelenmesi ve bu uygulamaların Türkiye'nin belirlediği amaç ve hedeflere ulaşması hususunda katkısının ne olabileceğinin araştırılması olarak belirlenmiştir.

### **1.4 Literatür**

Sıfır Enerji Binalar ve Şehirler konseptine geçiş amacıyla binalara yönelik yenilenebilir enerji uygulamaları son yıllarda önem kazanmış ve önemli araştırma alanlarından biri konumuna gelmiştir. Sırbistan'da yapılan bir çalışmada, binaların enerji talep ve yükünü en aza indirgeyecek ve ayrıca su arıtma sistemleri, su pompa sistemleri gibi çeşitli sistemler için enerji sağlayabilecek jeotermal, rüzgar ve güneş enerjisi gibi farklı yenilenebilir enerji kaynakları incelenmiştir. Çatı alan büyüklükleri,

yön ve güneş ışınım değerleri de dikkate alınarak potansiyel fotovoltaik uygulamalar ve binalara entegre fotovoltaik uygulamalar araştırılmıştır. Çalışmadan çıkarılan bir sonuca göre, kojenerasyon, trijenerasyon, güneş ve rüzgar enerjisi uygulamalarının hep birlikte değerlendirilmesi ve uygulanması Sıfır Enerji Binalar ve Şehirler konseptine ulaşılmasında önemli bir adım olmaktadır (Todorovic, 2012).

Ömür boyu enerji tüketiminin ve karbon salımlarının azaltılması konusunda enerji verimliliğinin yararlarının araştırıldığı bir çalışmada, tasarım sürecinde kayda değer önemli değişiklikler yapılmadan bile çeşitli enerji verimliliği tedbirleri ile enerji kullanımında %20-30 arasında azaltım elde edilebileceği belirtilmiştir. Yapılacak projelerin uzunluğu, tedbirlerin ne kadar maliyet etkin olacağını belirlemektedir. Buna göre proje süresinin uzaması geri dönüş oranının düşmesini sağlamaktadır. Çalışmada ayrıca enerji verimliliği yatırımları ile 10 yıllık bir periyotta binaların karbon ayak izi değerlerinin %32'ler düzeyine kadar azaltılabileceği de belirtilmiştir (Kneifel, 2009).

İngiltere'de yapılan bir çalışmada, çeşitli enerji verimliliği önlemleri, yenilenebilir enerji uygulamaları ve kombine ısı ve güç (CHP) uygulamalarını içeren Londra Planı'nda belirlenen hedeflere ulaşılması konusunda Londra enerji stratejilerinin ne kadar başarılı olup olamayacağı araştırılmıştır. Toplam %10 CO<sub>2</sub> salım azaltım hedefine ulaşılması konusunda sırasıyla daha az enerji kullanımı, enerjinin verimli tedarik edilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması olmak üzere toplam 3 adım belirlenmiştir. Enerji verimliliği ile ilgili, aydınlatma kontrol otomasyonları, yüksek performanslı camlama, pasif güneş tasarımları gibi başlıca temel konular çalışmada açıklanmıştır. En verimli yenilenebilir enerji uygulamasının, ucuzluğu ve özellikle kojenerasyon uygulamaları ile de birleştirilebilmesi sebebiyle biyokütle olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışmada toplamda 350 adet gelişim tedbiri yer almıştır. Bunlardan 30'u biyokütle 29'u da fotovoltaik uygulamalardır. Çalışmanın bir sonucu olarak yukarıda da belirtilen toplam 3 adım sayesinde CO<sub>2</sub> salım konusunda potansiyel %26'lık bir azaltım elde edilmiştir. Enerji verimliliği tedbirleri bu azaltım konusunda ciddi bir rol oynamıştır ve kojenerasyon uygulamaları ile birlikte bu azaltımdaki toplam payı %21 olarak belirtilmiştir. Yenilenebilir enerji uygulamalarının buradaki potansiyel payı da %5,8 olarak açıklanmıştır (Day ve diğ., 2009).

İspanya'nın Katalonya eyaletinin enerji talebinin ve CO<sub>2</sub> salım miktarının azaltılması konusunda, İspanya'nın ülke seviyesindeki regülasyonunda ve Katalonya'nın eyalet seviyesindeki regülasyonunda yer alan gereklilikler karşılaştırılarak, hangi

regülasyonun daha verimli olacağını araştırması yapılmıştır. Çalışma her iki regülasyonda yer alan farklı kabul ve gerekliliklerin simülasyon araştırmalarını içermektedir. İki regülasyon arasında coğrafi ve iklimsel sınıflandırmalar, pencerelerin güneş özellikleri, izolasyon, nüfus artış oranı gibi çeşitli farklı kabuller bulunmaktadır. Çalışmada her iki regülasyon çerçevesinde enerji verimliliği uygulamaları ile kayda değer gelişmeler sağlanmıştır. Ancak buradaki en önemli nokta; 2015 eğilim senaryosuna göre herhangi bir enerji verimliliği tedbiri uygulanmadığında, karbon salım oranının 2005 seviyesine göre %16,5 artış göstereceğidir (Garrido-Soriano ve diğ., 2012).

Çin'deki büyük ticari binaların düşük karbon sürdürülebilirliğine geçişi için kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada belirtildiği üzere, Çin'in toplam enerji tüketimi içinde binaların %25 gibi bir payı bulunmakta ve bu pay içerisinde de büyük ticari binalar en büyük rolü oynamaktadır. Enerji tüketiminin ve karbon salımlarının azaltılması konusunda 5 farklı yöntem belirlenmiş ve en maliyet etkin yöntem olarak da herhangi bir ödeme yapılmaksızın farkındalığın artırılması olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada ayrıca başta fotovoltaik uygulamalar olmak üzere yenilenebilir enerji uygulamalarının potansiyel rolü de incelenmiştir. Enerji üretmesi ve düşük karbon özelliği sebebiyle, binalara kurulabilecek fotovoltaik uygulamaların en önemli yöntemlerden biri olduğu belirtilmiştir. Fotovoltaik panellerin doğru akım elektrik üretmesi sebebiyle, fotovoltaik sistemlerin doğru akımla çalışan cihazlar için kurularak enerji kayıplarının en aza indirgenmesi hususu araştırmada belirtilen dikkat çekici bir öneri olmuştur (Jiand ve Tovey, 2009).

Avrupa ve İspanya genelinde yenilenebilir enerji konusunun incelendiği bir çalışmada, tüketici alışkanlıklarının değiştirilmesi ve enerji verimli teknolojilerin kullanılması ile Avrupa toplam enerji tüketiminin %20 dolaylarında azaltılabileceği belirtilmiştir. Aksi takdirde Avrupa toplam enerji tüketimi 2020 yılında %10 daha fazla olacaktır. Ek olarak yenilenebilir enerji teknolojilerinin Avrupa Birliği içerisinde yaygınlaşmasıyla, yıllık bazda 200-300 milyon ton fosil yakıt tüketimi ve 600-900 milyon ton CO<sub>2</sub> salımı engellenebileceği de öne sürülmüştür (Ruiz Romerto ve diğ., 2011).

İtalya için binalara entegre fotovoltaik uygulamaların çevresel ve ekonomik etkilerinin analiz edildiği bir çalışmada, esas olarak 1-2 ya da 3-4 kişilik ailelerin bulunduğu müstakil evlerin enerji taleplerinin karşılanması konusuna odaklanılmıştır. Yön ve eğim konuları da dahil olmak üzere fotovoltaik uygulamaların yapılabilirlik oranları

analiz edilmiş ve çeşitli bilgisayar yazılımları vasıtasıyla da toplam sistem kapasiteleri seçilmiştir. Sistem tasarımı sırasında fotovoltaik sistemlerin gelecekteki verim düşüşleri de göz önüne alınarak sistem kapasiteleri belirlenmiştir. Yaklaşık olarak 11,5 kWp bir sistem ile yıllık 8826 kg CO<sub>2</sub> salımının engellenebileceği hesaplanmıştır. Buna ek olarak sistemin ekonomik analizi de yapılmıştır. Harici ve karma finansman (%50 otofinansman ve %50 harici finansman) yerine otofinansman seçeneğinin en ekonomik yatırım olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak otofinansman sisteminin sakıncası ilk yatırım maliyetinin çok pahalı olmasıdır. Yazarlara göre böyle bir fotovoltaik sistem için, toplam 108.000 Avroluk toplam bütçe, otofinansman sistemini zorlayıcı bir proses haline getirmektedir (Cucchiella ve diğ., 2012).

ABD’de binalara entegre fotovoltaik (BIPV) ürünlerle ilgili yapılan bir çalışmada, söz konusu ürünler; BIPV folyo ürünler, BIPV kiremit, BIPV panel ve güneş hücreli cam ürünleri olmak üzere 4 ana grupta kategorize edilmiştir. Bu 4 ana gruba ait ürünler, belirli özellikleri ve farklılıklarıyla birlikte analiz edilmiştir. Çalışmada, pazardan belli ürün örnekleri alınarak verim, toplam alan, maksimum güç ( $P_{maks}$ ), açık devre gerilimi ( $U_{AD}$ ), kısa devre akımı ( $I_{KD}$ ) gibi değerler karşılaştırılmıştır. 2012 yılında 1,8 milyon ABD\$ olan küresel BIPV pazarının beklenen büyüme tahminleriyle beraber 2016 yılında 8,7 milyon ABD\$ seviyesine çıkacağı beklenmektedir. Gelişen teknolojiler ve düşen maliyetler ile birlikte, küresel fotovoltaik pazarında BIPV ürünlerinin payının artacağı da öngörülmektedir (Jelle ve diğ., 2012).

Bir başka çalışmada BIPV ürünleri, şehir planlama ve tasarımsal özellikleri çerçevesinde mimari bir perspektiften değerlendirilmiştir. Çalışmada BIPV ürünlerinin özellikle toplam yüzölçümü düşük ancak enerji talebi yüksek olan ülkeler için bir fırsat olmasından ötürü, bu teknolojinin fotovoltaik pazarın geleceği olduğu öne sürülmüştür. Yön, eğim, binalar arasındaki uzaklıklar, diğer binaların ve ağaçların gölgeleme etkileri ve yansıma gibi konular şehir planlama açısından önemli olan hususlardır. Çalışmada dikkat çekici bir nokta; ışınımın elektrikten ziyade daha fazla ısıya çevrildiği düşünüldüğünde, panellerin ısısının binayı ısıtmak için kullanılıp kullanılmayacağı düşüncesidir. Panellerin alt kısmında tasarlanacak hava boşlukları ile sıcak hava binaya aktarılacak ve böylece projenin maliyet etkinliği artırılmış olacaktır. Son olarak çalışmada belirtildiği üzere, iyi tasarlanmış bir teras hem yağmurdan korunma anlamında hem de gölgeleme üstünlüğü sayesinde BIPV projeler açısından iyi bir seçenek olarak gözükmektedir (Reijenda ve diğ., 2012).

Bir çalışmada AB-27 ülkelerinin 2030 yılındaki BIPV potansiyeli araştırılmıştır. Çalışmada belirtildiği üzere, kullanılmayan büyük miktardaki çatı alanları ve bina yüzeyleri sayesinde BIPV uygulamalarının Avrupa'nın gelecekteki fotovoltaik uygulama alanı olacağı öngörülmüştür. Bir çok araştırma ve çalışmadan edinilen deneyimler sayesinde, uygun çatı ve yüzey alan kabulleri yapılmıştır. Ek olarak gelecekteki panel verimleri ile ilgili bazı varsayımlar yapılmış ve buna göre ince film fotovoltaik teknoloji panellerin, günümüzde başlıca fotovoltaik teknoloji olan kristal bazlı panellerle küresel ölçekte eşit paya sahip olacağı tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak AB-27 ülkelerindeki BIPV toplam güç potansiyeli 951 GWp olmak üzere yıllık bazda 840 TWh elektrik enerjisi üretebileceği öne sürülmüştür. Çalışmaya göre bu değer, Avrupa'nın 2030 yılı için beklenen elektrik tüketim değerinin de %22'sini oluşturmaktadır (Defaix ve diğ., 2012).

Küresel fotovoltaik pazarın mevcut halinin ve son teknoloji panellerin incelendiği bir çalışmada, 136 üreticiden toplam 445 fotovoltaik panel, verim, ağırlık, güç yoğunluğu, teknoloji tipi ve şekilleri bakımından araştırılmıştır. Buna göre fotovoltaik panel verimleri genel olarak %14 ila %19 arasında değişmektedir. Müşteri ve yatırımcıların tercihlerini etkileyen en önemli faktör ise maliyetlerin düşmesi olarak ortaya çıkmıştır. Monosilikon bazlı fotovoltaik panellerin küresel payı 2010 yılında %16,6 iken 2012 yılında %37,2 olarak kaydedilmiştir. Çalışmada incelenen monokristal panellerin güç yoğunlukları da  $100 \text{ W/m}^2$  ila  $150 \text{ W/m}^2$  arasında değişmektedir. Ek olarak panellerin şekillerinin de genelde dikdörtgenimsi ve 100 milimetrenin katları olduğu görülmüştür (Ceron ve diğ., 2013).

Fotovoltaik panellerin kullanılabilirlikleri, maliyet ve zaman açısından avantaj sağlayabilecek yeni yapısal tasarımları ile ilgili Çin'de yapılan bir çalışmada, Çin'deki binaların kullanım ömürlerinin 50 sene olduğu ve panellerin sahip olduğu 25 yıllık garanti süresinin bu yüzden yeterli olmadığı vurgulanmıştır. Bu doğrultuda fotovoltaik sistemlerin en önemli özelliğinin bakım ve değiştirme prosesleri olduğu belirtilmiştir. Bakım ve değiştirme prosesleri açısından kolaylığa sahip taşıyıcı sistemlerde, panellerin sahip olduğu garanti süresi sona erdikten sonra yatırımcılar ve sistem sahipleri fotovoltaik sistemin bileşenlerini değiştirebileceklerdir. Çalışmada ayrıca güneş hücre teknolojilerine de değinilmiştir. Burada en dikkat çekici husus, piyasaya ancak 2020'li yıllarda sunulabilecek ve çok daha verimli olacak olan 3. nesil güneş hücreleridir. 3. nesil güneş hücreleri gece boyunca kızılötesi ışınları da elektriğe



dönüştürebileceğinden verimlerinin %30 ila %60 arasında olabileceği tahmin edilmektedir. Çalışmada ayrıca Çin'in güneş enerjisindeki durumu da analiz edilmiştir. 2000 yılında güneş enerjisi konusunda sadece 3 MW'lık bir üretim kapasitesine sahip olan Çin, bu rakamı 2007 yılında 1.088 MW'a ve 2009 yılında 4.382 MW'a çıkarmıştır. Bu, yıllar önce başlayan güneş hücre teknolojileri ile ilgili çalışmaların bir sonucu olarak yorumlanmaktadır (Peng ve diğ., 2011).

Çin'in son yıllarda uyguladığı fotovoltaik politikaların yararları ve problemleri ile ilgili yapılan bir başka çalışmada da Çin'in 2020 yılı enerji tüketiminin %15'lik bir kısmını yenilenebilir enerjiden sağlama hedefi olduğu ve bu hedef içerisinde de fotovoltaik sistemlerin önemli bir rol oynayacağı belirtilmiştir. 2006'dan önce fotovoltaik uygulamalar genelde kırsal bölgelerde elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılırken, 2006'da yürürlüğe giren ve Çin için bu konuda çok önemli bir adım olan Yenilenebilir Enerji Kanunu sonrası başlıca uygulama alanı büyük ölçekli fotovoltaik enerji santralleri haline gelmiştir. Ulusal bazda hükümet tarafından ve eyalet bazında eyalet yönetimleri tarafından verilen teşvikler sayesinde, hem fotovoltaik panel üretimi hem de fotovoltaik sistem uygulamalarında kayda değer artışlar sağlanmıştır. Bir diğer önemli etken de Araştırma & Geliştirme kurumlarıdır. Örnek olarak, bir devlet kurumu olan Emei Yarı-iletken Araştırma Enstitüsü polisilikon teknoloji ile alakalı önemli gelişmelere imza atmış ve bunu fotovoltaik endüstriye transfer etmiştir. Bu doğrultuda 2008 yılında 1.801 MW olan polisilikon üretim kapasitesi 2009 yılında 6.824 MW'a çıkmıştır. Bu da yaklaşık olarak %379'luk bir artışa denk gelmektedir (Huo ve diğ., 2012).

Brezilya'da yapılan bir çalışmada amorf silikon (a-Si) fotovoltaik teknoloji ve kristal silikon (c-Si) fotovoltaik teknoloji, toplam 496 müstakil evin çatı yüzeylerine fotovoltaik uygulamalar yapılması amacıyla karşılaştırılmıştır. Öncelikle 31 adet bina örnek olarak alınmış ve bölgenin bazı özelliklerini anlayabilmek amacıyla enlem, yön, solar ışınım vb. değerler açısından incelenmiştir. Daha sonra bazı yazılımlar vasıtasıyla yukarıdaki değerler için ortalamalar elde edilmiş ve 2 farklı fotovoltaik teknoloji karşılaştırılmıştır. Her bir müstakil ev çatısı için 8 m<sup>2</sup> çatı alanı belirlenmiştir. Sonuç olarak a-Si panellerle yılda 5,4 GWh elektrik ve c-Si panellerle de 12,3 GWh elektrik üretilebileceği anlaşılmıştır. Toplam 80.000 m<sup>2</sup>'lik potansiyel kullanım alanı belirlenmiş ve 496 müstakil evin yıllık enerji ihtiyacının %20 ila %40'ının bu uygulamadan sağlanabileceği tahmini yapılmıştır (Santos ve diğ., 2012).

Kore’de amorf bazlı ince film panellerle, izolasyon, gölgelenme etkisi gibi hususlarda optimum koşullar sağlanmadan uygulanan bir BIPV fotovoltaiik sistemin performansı incelenmiştir. Projede paneller binanın güneybatı yönüne bakan yüzeyinde dik olarak monte edilmiştir. 2004 yılında kurulumu tamamlanan sistemin performansı, 2005 ve 2007 yılları arasında 2 yıl boyunca gözlemlenmiş ve kurulumda tahmin edilen çıkış değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır. 2,2 kWp toplam kapasiteye sahip sistem, her biri 44 Wp gücünde 48 adet panelden oluşmaktadır. Yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen çıkış değerlerinin, tahmin edilen değerlerin neredeyse yarısına tekabül ettiği görülmüştür. Bunun nedeni olarak da izolasyon ve gölgeleme etkisi gösterilmiştir. Daha sonra sistem performansının karşılaştırılması amacıyla 3 adet model geliştirilmiştir. Bunlardan ilkinde yön (50° güneybatı) aynı bırakılmış ve gölgeleme etkisinin olmadığı varsayılmıştır. Diğer iki modelde ise yön güney olarak değiştirilmiş ve gölgeleme etkisi birinde sabit bırakılıp diğerinde yok kabul edilmiştir. Sonuç olarak en büyük iyileşme, yönün güney olarak kabul edildiği ve ayrıca gölgeleme etkisinin olmadığı modelde elde edilmiştir. Söz konusu modelde gerçek üretim değerlerine göre %47’lik bir potansiyel artış elde edilmiştir (Yoon ve diğ., 2011).

## **2. FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİ**

Bu bölümde, fotovoltaik güç sistemleri ile ilgili genel bilgiler, fotovoltaik hücrelerin tarihi ve sınıflandırmaları, bir fotovoltaik güç sistem tasarımının nasıl yapıldığı ile fotovoltaik konusunda Dünyadaki ve Türkiye'deki mevcut durum hakkında bilgiler verilmiştir.

### **2.1 Genel Bilgiler**

Fotovoltaik güç sistemlerinin ana özelliği güneşten gelen ışınımın güneş panelleri vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek enerji üretimi yapılmasıdır. Fotovoltaik güç sistemleri, tasarımlarına bağlı olarak elektrik şebekesine bağlı ya da şebekeden bağımsız olabilirler.

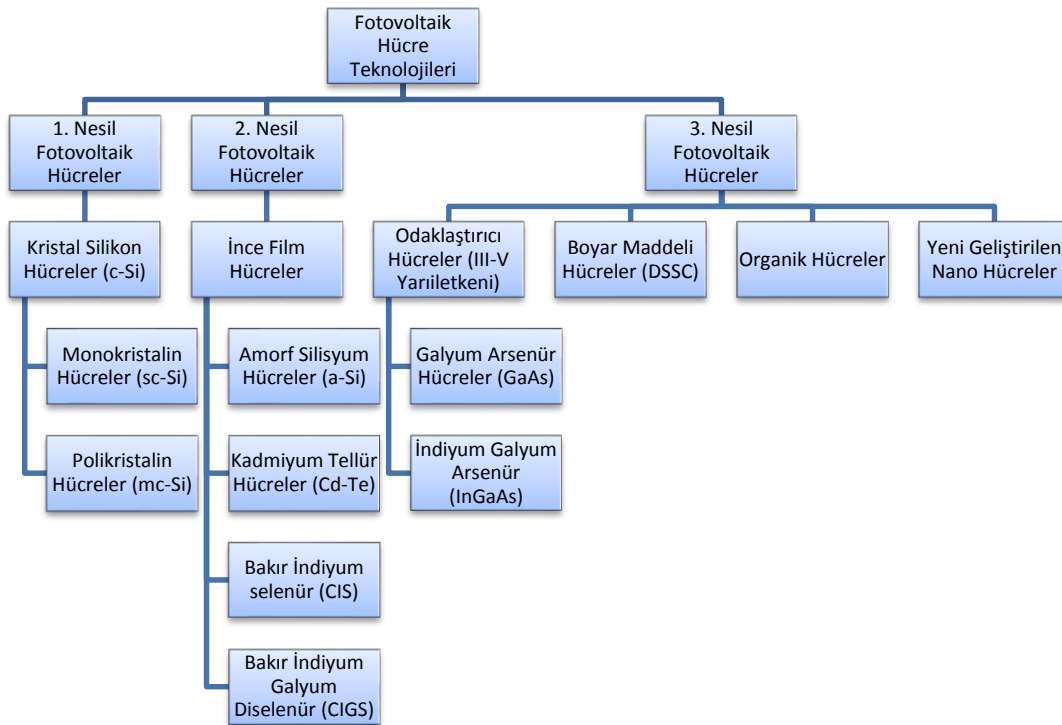
Fotovoltaik güç sistemlerinde kullanılan bileşenler sistemin elektrik şebekesine bağlı ya da bağımsız olma durumuna göre farklılık gösterir. Fotovoltaik sistemlerin ana bileşenleri; güneşten gelen ışınımı doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş panelleri, güneş panellerinin ürettiği doğru akım elektrik enerjisini alternatif akıma çeviren eviriciler, güneş panellerinin sabitleneceği taşıyıcı sistemler ve üretilen elektriğin sistem içinde dolaşımını sağlayan kablolardır. Elektrik şebekesine bağlı sistemlerde üretilen elektrik enerjisi doğrudan şebekeye verildiği için enerji depolama birimlerine gerek yoktur. Ancak elektrik şebekesinden bağımsız sistemlerde söz konusu enerji depolama birimlerine ihtiyaç duyulur ve bu doğrultuda yukarıda sayılan ana bileşenlere ilaveten akü grupları kullanılır. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan akü çeşidi genellikle jel tipi aküdür ve şebekeden bağımsız bu sistemler kullanılacak olan akünün gerilim değerine göre tasarlanırlar.

Fotovoltaik güç sistemleri, fotovoltaik panellerin seri ve/veya paralel bağlanarak toplam güç kapasitesinin artırılması ile oluşturulur. Fotovoltaik güç sistemlerinin ilk yapıtaşı olan fotovoltaik paneller de aynı prensip doğrultusunda fotovoltaik hücrelerin seri ve paralel olarak birbirine bağlanmasından oluşmaktadır.

## 2.2 Fotovoltaik Hücre Teknolojileri

Fotovoltaik prensiple çalışan ve üzerine gelen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik hücreler çok farklı malzemelerden farklı proseslerle elde edilebilmektedir. Kullanılan malzeme ve prosese bağlı olarak da hücre teknolojileri arasında verim, şekil, maliyet vb. özellikler açısından çeşitli farklılıklar bulunmaktadır.

Günümüzde fotovoltaik hücre teknolojilerinin sınıflandırılması genel olarak Şekil 2.1'deki gibi yapılmaktadır:



Şekil 2.1: Fotovoltaik Hücre Teknolojilerinin Sınıflandırılması (IRENA, 2012).

### 2.2.1 Birinci nesil fotovoltaik hücreler

Birinci nesil fotovoltaik hücreler kristal silisyum yarıiletken teknolojisine dayanmaktadır ve günümüzde dünya fotovoltaik pazarında en ticari ve en yaygın olarak kullanılan fotovoltaik hücre teknolojisidir. Hücrelerde kullanılan silisyumun saflık derecesine göre mono-kristalin ve poli-kristalin olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bunlardan daha saf olan mono-kristalin hücrelerin verimleri daha yüksek olmakla beraber maliyetleri daha fazladır. Bu doğrultuda poli-kristalin hücrelerin maliyetleri

ve verimleri mono-kristalin hücelere göre daha düşüktür. Ancak günümüzde piyasada satışı sunulan mono-kristalin ve poli-kristalin güneş panellerinin verimleri arasında çok büyük farklar mevcut değildir. Bu yüzden büyük ölçekli fotovoltaik güç santrallerinde maliyetler göz önüne alınarak genellikle poli-kristalin paneller kullanılmaktadır. Dünyada ticari olarak ilk üretilen kristal silisyum güneş hücrelerinden oluşan güneş paneli, 1963 yılında Japonya'da üretilmiştir (IRENA, 2012). Günümüzde kristal silisyum fotovoltaik hücrelerin dünya fotovoltaik pazarındaki oranı %80'in üstündedir ve bu durumun ilerleyen yıllarda da değişmeyeceği tahmin edilmektedir (EPIA, 2014).

### **2.2.2 İkinci nesil fotovoltaik hücreler**

İnce film fotovoltaik hücreler olarak da bilinen ikinci nesil fotovoltaik hücreler 1970'li yıllardan itibaren üretilmeye başlanmış olup kristal silisyum fotovoltaik hücelere göre maliyetleri çok daha ucuz ve bu doğrultuda verimleri de çok daha düşüktür. Ancak birçok çalışmada belirtildiği üzere, çevre koşullarına ve konuma bağlı olarak maliyet-performans açısından kristal silisyum hücelere göre daha avantajlı olabilmektedirler.

İnce film hücrelerin bir başka üstünlüğü de yapı özelliklerinden dolayı binalara entegre fotovoltaik paneller (BIPV) olarak kolay tasarlanabilir oluşlarıdır. Binaların cam yüzeylerine, cephelerine ya da çatılarına konvansiyonel bina malzemeleri yerine ince film hücrelerden oluşan binalara entegre fotovoltaik paneller yerleştirilmesiyle, hem konvansiyonel bina malzemelerinin işlevi yerine getirilmekte hem de elektrik enerjisi üretimi yapılabilmektedir. Birçok çalışmada gelecekte fotovoltaik pazarın büyük ölçekli güç santrallerinden bina uygulamalarına kayacağı ve akıllı binaların yaygınlaşacağı belirtilmiştir.

Günümüzde ince film fotovoltaik hücreler genel itibariyle Amorf Silisyum (a-Si), Kadmiyum Tellür (Cd-Te), Bakır İndiyum Selenür (CIS) ve Bakır İndiyum Galyum Diselenür (CIGS) olmak üzere alt türlere ayrılmaktadır. Ayrıca Amorf Silisyum hücreler ile kristal silisyum hücreler birleştirilerek verimleri yüksek Hibrit Hücreler (HIT) de elde edilebilmektedir.

Dünya fotovoltaik pazarı yüksek oranda kristal silikon hücreler tarafından domine edilmesine rağmen ince film hücrelerin kullanım oranı son yıllarda artmaya başlamıştır. Ancak ince film hücrelerin pazardaki toplam kullanım oranının ancak uzun vadede kristal silikon hücelere yetişebileceği tahmin edilmektedir.

### **2.2.3 Üçüncü nesil fotovoltaik hücreler**

Üçüncü nesil fotovoltaik hücreler günümüzde laboratuvar şartlarında üretilmeye başlanmış olup araştırma ve geliştirme süreci içerisinde olan fotovoltaik hücrelerdir. Piyasada çok fazla kullanım alanı olmamasına rağmen gelecekte ekonomik olarak kullanılabilir duruma geleceği öngörülmektedir.

Üçüncü nesil fotovoltaik hücrelerden biri olan Galyum Arsenür (GaAs) hücreler günümüzde uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. En verimli GaAs hücrenin verimi laboratuvar ortamında %32.6 olarak kaydedilmiştir (Woodhouse ve diğ., 2013). Günümüzde bu hücrelerin verimleri genelde %20 ila %30 arasında değişmektedir. Ancak bu hücrelerin maliyetleri çok yüksektir.

Boyar maddeli hücreler (DSSC), organik hücreler ve nano hücreler de diğer üçüncü nesil fotovoltaik hücrelerdir. Araştırma ve geliştirme süreçleri içerisinde olduklarından, bu hücrelerin ticari olarak kullanımları da son derece sınırlıdır.

### **2.3 Fotovoltaik Hücre Tarihi**

Güneş hücrelerinin temelinde yatan fiziği, yani fotovoltaik etkiyi dünyada ilk gözlemleyen kişi Fransız Alexandre-Edmond Becquerel'dir. Bir sıvı içerisine batırılmış iki pirinç plakanın, ışığa maruz kaldığında devamlı bir akım oluşturduğunu 19. yüzyılda keşfetmiştir (B. Tull, 2001).

1870'lerde de iki İngiliz araştırmacı William G. Adams ve Richard E. Day katı selenyum içerisinde fotokimyasal etki gözlemlemişlerdir. Mum ışığı kullanarak selenyum içerisinde elektriksel bir akım oluşturmayı başarmışlardır.

Bu gelişmelerden sonra bilim insanları selenyum ile daha fazla ilgilenmeye başlamış ve bunun sonucunda selenyum ile alakalı teknolojik gelişmeler sağlanmıştır. 1880'lerin başında Charles Fritts, gün ışığını elektriğe dönüştüren selenyum bazlı ilk

fotovoltaik hücreyi keşfetmiştir. Ancak söz konusu hücrenin verimi %1'den düşük olarak kaydedilmiştir (G. K. Singh, 2012).

1880'lerden 1. Dünya Savaşı sonuna kadarki dönemde fosil kaynaklı yakıtların motorlar için kullanılan en ucuz ve en yaygın yakıt olması, söz konusu dönemde insanların güneş enerjisine ilgilerinin az olmasına neden olmuştur.

1931 yılında Alman Bruno Lange de selenyum bazlı bir güneş hücresi üretmiş ancak bu hücrenin verimi %1 dolaylarında kalmıştır (B. Tull, 2001).

Araştırmacılar, silikon transistor teknolojisinin başlangıcı olan 1950'li yıllara kadar da güneş enerjisi konusu ile ilgilenmemeye devam etmişlerdir. ABD'deki Bell Laboratuvarı'nda çalışan Calvin Fuller ve Gerald Pearson, elektriksel ekipmanlar için silikon transistor geliştirimi ile alakalı çalışırken kazayla fotovoltaik hücre oluşturmuşlar ve elektrik enerjisi üretmişlerdir. Söz konusu bu hücre farklı metallerin karışımıyla oluşturulan iki farklı silikondan oluşmuştur. Araştırmacılar, silikon doğrultucunun veriminin, silikonun saflığına ve ışınım koşullarına bağlı olarak değiştiğini de gözlemlemişlerdir. Silikon bazlı bu hücrenin verimi %4 olarak kaydedilmiştir. Fuller ve Pearson'a Daryl Chapin'in de katılımıyla bir araştırma ekibi oluşturulmuş ve silikon hücrelerin selenyum hücrelerden yaklaşık 5 kat daha verimli olduğu ortaya çıkarılmıştır (Genesis Energy).

Zamanla silikon hücrelerin verimlerinde gelişmeler sağlanmışsa da fotovoltaik hücrelerin ticari uygulamaları o günlerde dünya üzerinde ekonomik açıdan uygulanabilir olmamaya devam etmiştir. Ancak uygulanabilir olacağı yer kısa bir süre içinde keşfedilmiştir; Uzay.

1950'li yıllarda uzay yarışının başlamasıyla, fotovoltaik hücrelere yeni bir alan oluşmuştur. Araştırmacılar uzun yıllar boyunca çalışmaya devam edecek olan fotovoltaik hücrelerin, birkaç hafta içerisinde ömrünü tamamlayan klasik kimyasal bataryalardan çok daha kullanışlı olacağını düşünmüşlerdir. Bunun sonucu olarak ilk defa ABD donanması Vanguard uydusunda kimyasal bataryalardan ve güneş hücresinden oluşan bileşik bir güç sistemi kullanmıştır. Söz konusu güneş hücrelerinin toplam güç kapasitesi sadece 1 Watt kadardır (G. K. Singh, 2012). Ancak daha sonra 1972 yılına gelindiğinde 1000 adet uydu artık güneş enerjisiyle çalışır duruma

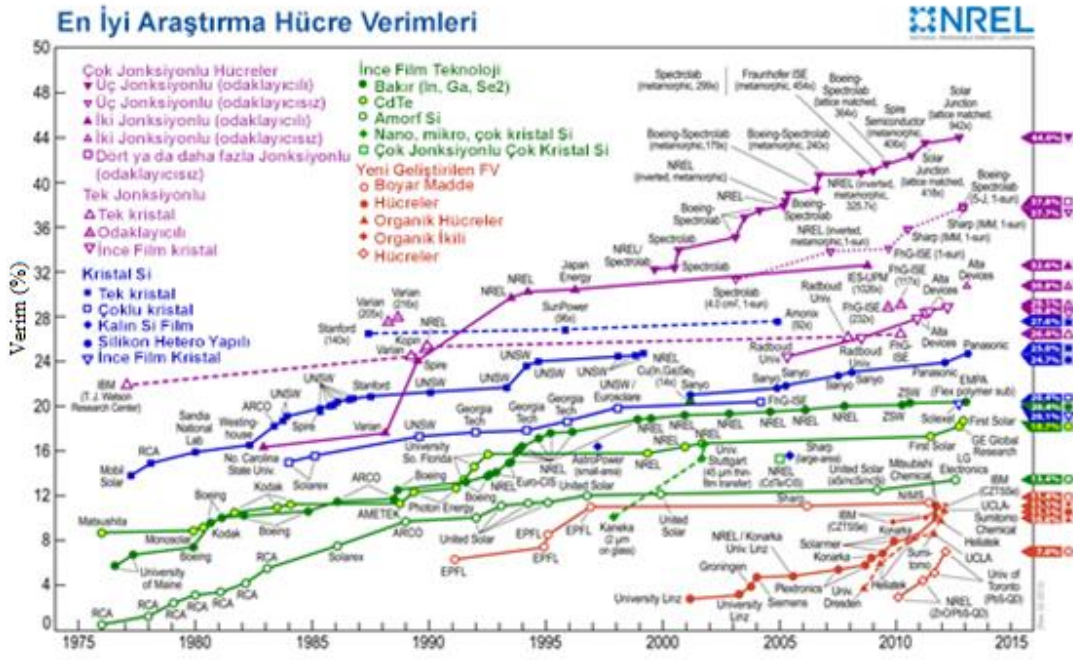
gelmiştir. Bütün bunların sonucu olarak fotovoltaik hücreler çok daha hafif, çok daha durağan ve elektrik üretiminde çok daha iyi bir noktaya gelmiştir.

1973 yılında Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü'nün (OPEC) bazı üye ülkeleri petrol ihraç etmeyi durdurmuş ve petrol fiyatlarına zam yapmışlardır. Birkaç yıl devam eden bu durum sonunda 1980 yılındaki petrol fiyatları, 1970 senesine göre 25 kat daha pahalı hale gelmiştir. Petrol fiyatlarındaki bu artış da ülkeleri ve araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarına ve bunun bir parçası olarak da fotovoltaik hücreler gibi güneş enerjisi teknolojilerini araştırıp geliştirmeye yönlendirmiştir. Ancak uzun bir süre fotovoltaik hücreler daha çok radyo, uydu, telefon sistemleri ve uyarı levhaları gibi belli sistemlerde kullanılmaya devam etmiştir.

1976 yılında Amorf Silisyum (a-Si), 1980'li yıllarda da Galyum Arsenür (GaAs), Bakır Sülfür (CuS) ve Kadmiyum Sülfür (CdS), Kadmiyum Tellür (CdTe) gibi birçok değişik malzemelerden de fotovoltaik hücreler yapılmaya başlanmış ve bu tür hücreler ince film fotovoltaik hücreler olarak tanımlanmıştır.

1990'lı yıllardan itibaren hem silikon bazlı fotovoltaik hücrelerde, hem de ince film fotovoltaik hücrelerde önemli verim artışları sağlanmıştır. Günümüzde fotovoltaik hücrelerin verimleri kristal silikon (c-Si) hücrelerde %27,6'lara, ince film hücrelerde de %20,4'lere kadar çıkmıştır. Ancak bu verim değerleri laboratuvarlarda araştırılmak üzere üretilen fotovoltaik hücrelerin ölçülen verim değerleridir. Güneş enerjisi piyasasında satışa sunulan fotovoltaik hücrelerin verimleri bu değerlerin çok daha altında kalmaktadır. Ayrıca fotovoltaik hücrelerin seri ve paralel olarak bağlanmasıyla oluşturulan güneş panellerinin verimleri de kendisini oluşturan fotovoltaik hücrelerin verimlerinden daha düşüktür. Laboratuvar ortamında optimum koşullar sağlanarak elde edilen en verimli fotovoltaik hücrelerin verim değerlerinin zamanla gelişimini gösteren grafik Şekil 2.2'de verilmiştir.





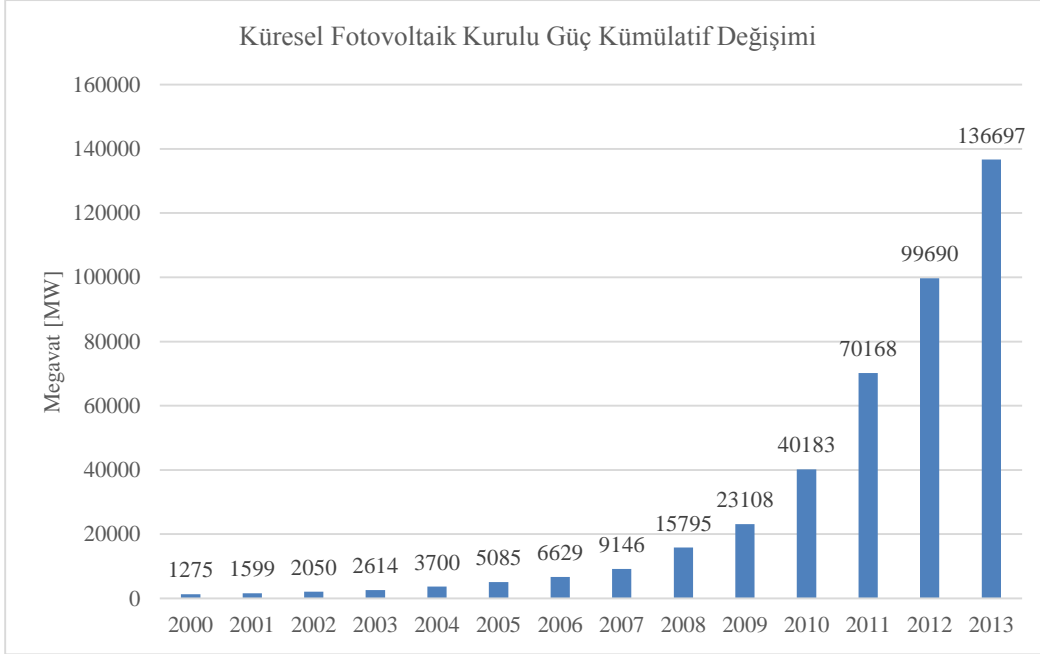
**Şekil 2.2:** Laboratuvar ortamında kaydedilen en verimli fotovoltaik hücrelerin zaman içinde gelişimi (Woodhouse ve diğ., 2013).

Günümüzde güneş enerjisi piyasasında kullanılan en önemli iki fotovoltaik teknoloji kristal silikon bazlı fotovoltaik teknoloji ve ince film fotovoltaik teknolojidir. Piyasada bulunan fotovoltaik panellerin büyük çoğunluğu bu iki fotovoltaik teknolojiye dayanmaktadır. Bu tez kapsamında da küresel çapta 17 farklı güneş paneli üreticisinden panel bilgileri toplanmış ve toplam 411 adet farklı güneş paneli değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmedeki güneş panellerinin %95'i kristal silikon bazlı güneş panelleridir. İncelemede yer alan kristal silikon panellerin verimleri; mono-kristalin panellerde %13,32 ila %21,16 arasında (ortalama verim değeri %15,74 olarak kaydedilmiştir), poli-kristalin panellerde ise %13,05 ila %18,87 arasında değişmektedir (ortalama verim değeri %15,32 olarak kaydedilmiştir). Araştırmadaki ince film fotovoltaik hücrelerin verim değerleri ise %4,22 ila %13,19 arasında değişmektedir.

## 2.4 Fotovoltaik'de Dünyadaki Durum

19. yüzyılda Becquerel'in fotovoltaik etkiyi gözlemlemesiyle başlayan dünyanın fotovoltaik serüveni günümüzde 100.000 MWp'ı aşan kurulu güç rakamlarına ulaşmıştır. Özellikle 2000'li yıllarla birlikte dünyada önemi artan çevre ve hava kirliliği, sera gazı etkisi ve küresel iklim değişikliği gibi konular neticesinde ülkelerin

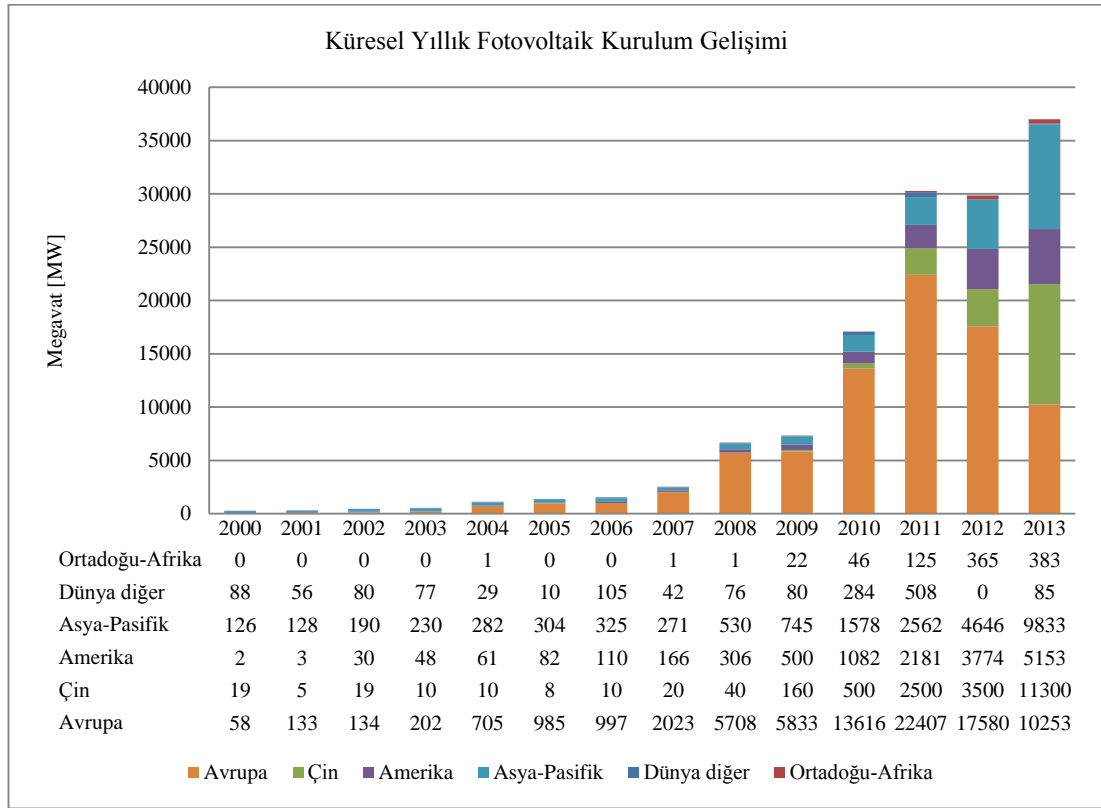
ve insanların yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına olan ilgisi artmış, güneş enerjisi de bundan kendine düşen payı almıştır. Şekil 2.3’de dünya toplam fotovoltaik kurulu güç değerlerinin yıllara bağlı olarak kümülatif değişimini gösteren grafik verilmiştir.



**Şekil 2.3:** Küresel Fotovoltaik Kurulu Güç Kümülatif Değişimi (EPIA, 2014).

Grafiğe bakıldığında son yıllarda hızlı bir gelişime bağlı olarak ortaya çıkan eksponansiyel etki gözlemlenebilmektedir. En önemli pay sahibi, 2020 yılı toplam enerji ihtiyacının %20’lik kısmını yenilenebilir enerjiden sağlama hedefi koyan Avrupa Birliği’dir. Avrupa ülkeleri bu hedefe ulaşma yolunda yenilenebilir enerji kaynaklarına ve dolayısıyla güneş enerjisine yatırımlarını hızlandırmıştır. Bunun bir sonucu olarak da Şekil 2.4’ten de görülebileceği üzere dünya fotovoltaik pazarına 2010 yılına kadar hükmetmişlerdir. Ancak Avro bölgesinde yaşanan ekonomik kriz sonrası dünya güneş enerjisi piyasası Uzakdoğu’ya ve özellikle Çin’e doğru kaymaktadır. ABD ve Japonya da Çin ile birlikte son yıllarda güneş enerjisi konusunda önemli atılımlar yapan diğer iki ülke konumundadır. Bu üç ülkenin fotovoltaik pazarda daha etkin bir rol oynamaya başlaması sonrası Avrupa’nın dünya fotovoltaik piyasasındaki payı %80’lerden %27’lere kadar düşmüştür. Buna rağmen kümülatif toplamda dünyada kurulu gücün %58’den fazlası halen Avrupa bölgesinde bulunmaktadır. Ancak bu durumun ileriki yıllarda değişmesi ve güneş enerjisi piyasasına Çin, ABD

ve Japonya'nın hükmetmesi öngörülmektedir. Bu üç ülkenin de etkisiyle grafikte görülen eksponansiyel artışın önümüzdeki senelerde de devam etmesi beklenmektedir.



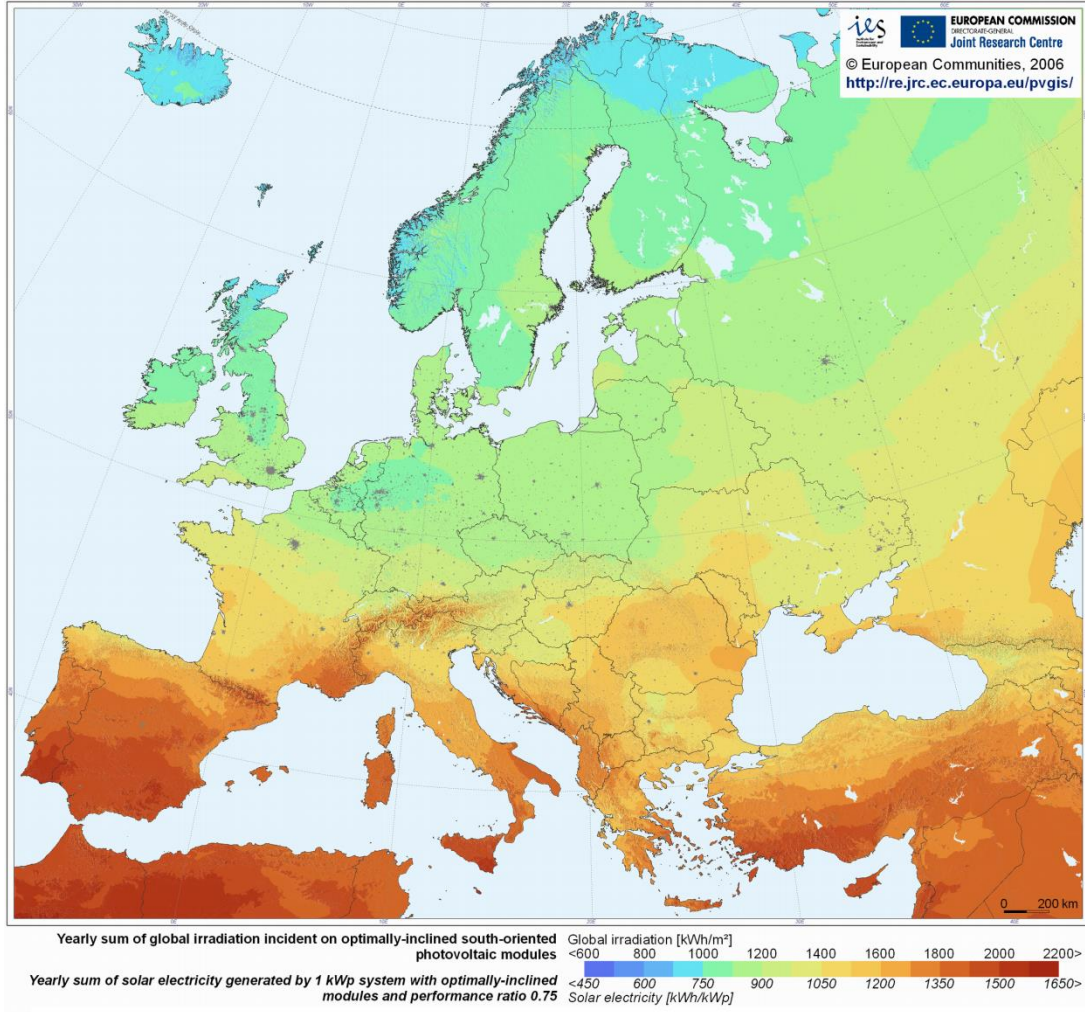
**Şekil 2.4:** Bölgelere Göre Küresel Yıllık Fotovoltaik Kurulum Gelişimi (EPIA, 2013).

2012 yılında tüm dünyada hayata geçirilen fotovoltaik uygulamaların %21'i binalarda gerçekleştirilmiştir. Bu oran 2011 yılında da yaklaşık olarak aynı seviyededir. Ancak önümüzdeki yıllarda büyük ölçekli ticari fotovoltaik uygulamaların oranının azalması ve bina fotovoltaik uygulama oranlarının artması beklenmektedir. Binalarda fotovoltaik uygulamalar konusunda 2012 yılında Avrupa'da ilk üç ülke %22 oranla İtalya, %19'la Almanya ve %14 ile Belçika olarak kaydedilmiştir (EPIA, 2013).

## 2.5 Fotovoltaik'de Türkiye'deki Durum

Türkiye güneş enerjisi konusunda yüksek bir potansiyele sahip olmasına rağmen toplam fotovoltaik kurulu güç kapasitesi açısından yeterli ilerlemeleri gerçekleştirememiş ve küresel ölçekte geri durumda kalmıştır. Avrupa Komisyonu tarafından 2006 yılında yayımlanan, Avrupa ve ülkelerinin güneşten üretebileceği elektrik enerjisi potansiyelini gösteren atlas Şekil 2.5'de verilmiştir. Buna göre Türkiye'nin Avrupa ülkelerinin geneliyle karşılaştırıldığında güneş enerjisi

potansiyelinin çok daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Ancak Türkiye bu yüksek potansiyelini günümüze kadar yeterli ölçüde kullanamamıştır.



**Şekil 2.5:** Avrupa Ülkelerinde Fotovoltaik Güneş Elektrik Potansiyeli (Avrupa Komisyonu, 2006)

2005 yılında yürürlüğe giren *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun* ve 2011 yılında yayınlanan *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* sonrası Türkiye’de güneş enerjisine yönelik ilgi bir ölçüde artmıştır. 2011 yılında yayınlanan söz konusu yönetmelikteki 500 kW’lık lisanssız santral kurulum üst sınırının, 2013 yılında yayınlanan yönetmelikle 1.000 kW’a çıkması da güneş enerji sektörünü hızlandırmıştır. Yönetmeliklerde 1 MW kapasiteden küçük santraller lisanssız olarak sınıflandırılmış ve elektrik enerjisi üretimi için lisans almaktan muaf bırakılmışlardır. 1.000 kW kapasite üstü santrallerle elektrik üretiminde lisans alma zorunluluğu ise

devam etmektedir (Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, 2013).

Lisanssız pazardaki gelişmelerden farklı olarak güneş enerjisine dayalı lisanslı elektrik enerjisi üretimi konusunda da gelişmeler yaşanmaya başlanmış ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı toplam 600 MW lisanslı güneş enerji santral kapasitesi açıklamıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) lisanslı güneş enerjisi santralleri ile alakalı teklifleri Haziran 2013'te toplamıştır. Söz konusu 600 MW kapasiteli lisanslı güneş enerji santralleri için toplam 9.000 MW'lık teklif verilmiştir. EPDK verilen teklifleri değerlendirmeye almış ve Elazığ ile Erzurum bölgelerinde toplam 13 MW kapasiteli santraller ile ilgili Mayıs 2014'te ilk yarışmalar yapılmıştır. Lisanslı elektrik üretim santralleriyle ilgili yarışmalar 2014 yılı içerisinde yapılan yarışmalarla devam etmiş ve Nisan 2015 sonunda yapılanlarla da sona ermiştir. Şubat 2014 baz alındığında lisanssız güneş enerji santrallerine toplam 213 başvuru yapılmıştır ve bu başvuruların toplam kapasite büyüklüğü 68 MWp olarak gerçekleşmiştir (Oktik, Ş., 2014). 2015 Mayıs ayı baz alındığında da Türkiye'nin toplam güneş enerjisi kurulu gücünün yaklaşık olarak 70 MWp olduğu tahmin edilmektedir.

## **2.6 Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Projelendirmesi**

Bu bölümde fotovoltaik güç sistemleri tasarımının nasıl yapılacağı anlatılacaktır. Herhangi bir güneş paneli ve herhangi bir eviricinin uyumlu bir şekilde çalışabilmeleri için gerekli teknik özellikler ışığında, doğru tasarım için yapılması gereken hesaplar gösterilecektir.

### **2.6.1 Alan seçimi ve özellikleri**

Fotovoltaik güç sistemlerinin tasarımında dikkat edilecek ilk hususlardan biri, sistemin kurulacağı alan ve alanın özellikleridir. Fotovoltaik güç sistemleri taşıyıcı yapılar vasıtasıyla doğrudan arazi üzerine kurulabileceği gibi, binaların çatı ve yüzeylerine de monte edilebilirler.

Fotovoltaik güç sistemlerinin kapasite büyüklükleri sistemin kurulacağı alanın büyüklüğüyle orantılıdır. Ayrıca güneş panellerinin belli bir açıyla yerleştirilmesi - bölgenin enlemine bağlı olarak- optimum verimi sağlayacağından, sistemin kurulacağı bölgenin eğimi de burada önemli bir parametredir. Arazi uygulamalarında

gölgelemenin yıl içinde farklılık göstermesinden dolayı güneş panellerinin gölgelenmeden etkilenmemesi için panel grupları arasında boşluklar bırakılması gerekmektedir ve bu da daha fazla alan kullanımını anlamına gelmektedir. Ancak çatı uygulamalarında hali hazırda mevcut bir eğim söz konusuysa böyle bir gereklilik yoktur. Dolayısıyla aynı güç kapasitesi düz ve eğimsiz bölgelere nazaran, eğimli bölgelerde ve çatılarda daha az alan harcanarak elde edilebilir. Ancak çatının mevcut durumdaki eğimi ve azimut açısı kullanılacağı için çatı uygulamalarında optimum enerji eldesi de çok kolay olmamaktadır.

### **2.6.2 Fotovoltaik güç sistemi tasarımı**

Fotovoltaik güç sistemleri tasarlanırken, ilk ve en önemli noktalardan biri sistemin iki ana bileşeni olan güneş panelleri ve eviricilerin birbiriyle uyumlu olarak çalışabilmesidir. Bu uyum, güneş panellerinin elektriksel değerleriyle eviricilerin elektriksel değerleri dikkate alınarak, bu değerlere göre doğru bir sistem tasarımı yapılabilmesiyle elde edilir. Eviriciye bağlanacak toplam güneş paneli sayısı, güneş panellerinin seri ve paralel bağlantı tasarımı, güneş panellerinin eviricilere hangi şekilde bağlanacağı vb. sistem özellikleri söz konusu elektriksel değerlerin doğru okunması ve değerlendirilmesiyle bulunur. Bu parametreler sistemin sürekliliğini etkileyen en önemli etkenlerden bazılarıdır ve doğru hesaplanmadığı takdirde sistemin devre dışı kalmasına kadar çeşitli bozukluklara sebep olabilmektedir.

Birbiriyle seri bağlanan güneş panelleri dizileri oluşturmaktadır. Bir dizide kullanılacak toplam güneş paneli sayısı, sistemde kullanılacak eviricinin elektriksel değerlerine göre belirlenmektedir. Güneş panelleri seri bağlandığında dizinin gerilim değeri toplanarak artacağından, elde edilen toplam gerilim değeri eviricinin maksimum giriş gerilim değerinden küçük olmalıdır. Yine aynı şekilde eviricinin sahip olduğu minimum giriş gerilim değerine göre bir dizide seçilebilecek minimum güneş paneli sayısı da belirlenebilmektedir. Bu hesaplama yapılmadan önce tasarım sürecinde, sistemin kurulacağı bölgenin iklimsel değerleri de dikkate alınmalıdır. Güneş panellerinin gerilimleri sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğinden, bölgede görülebilecek minimum ve maksimum sıcaklık değerleri bilinerek bir sistem tasarımı yapılması gerekmektedir. Güneş panellerinin maksimum açık devre gerilim değeri, ışınım altında minimum sıcaklık ortamında elde edilirken, aynı mantıkla minimum açık devre gerilim değeri de ışınım altında maksimum sıcaklık ortamında elde edilir. Bu doğrultuda; seri devrede bulunabilecek maksimum güneş paneli sayısı,

eviricinin maksimum giriş geriliminin, minimum sıcaklıktaki açık devre gerilim değerine bölünmesiyle elde edilir.

$$n_{MAKS} = U_{EVI-MaksGiriş} \div U_{AD-Tmin} \quad (2.1)$$

Burada;

$n_{MAKS}$  : Bir dizide bulunabilecek maksimum güneş paneli sayısını,

$U_{EVI-MaksGiriş}$  : Eviricinin maksimum giriş gerilimini,

$U_{AD-Tmin}$  : Minimum sıcaklıktaki açık devre gerilimini ifade etmektedir.

Çok düşük ışımada değerlerinde bile güneş panelleri bir miktar ısınmaktadır. Bu değer sıcak havalarda ve özellikle yaz aylarında 70°C'ye kadar çıkabilmektedir. Yukarıda sözü edilen ters orantı sebebiyle ısınan panellerin gerilim değerleri düşecektir. Yüksek sıcaklıklarda panellerde görülebilecek minimum gerilim değeri, eviricideki minimum giriş gerilim değerinden büyük olmalıdır. Bu doğrultuda; seri devrede bulunabilecek minimum güneş paneli sayısı, eviricinin minimum giriş geriliminin, maksimum sıcaklıktaki nominal gerilim değerine bölünmesiyle elde edilir. Bu hesapta nominal gerilim değerinin kullanılmasının amacı, nominal gerilim değerinin açık devre geriliminden daha düşük olmasıdır.

$$n_{MIN} = U_{EVI-MinGiriş} \div U_{nom-Tmaks} \quad (2.2)$$

Burada;

$n_{MIN}$  : Bir dizide bulunabilecek minimum güneş paneli sayısını,

$U_{EVI-MinGiriş}$  : Eviricinin minimum giriş gerilimini,

$U_{nom-Tmaks}$  : Maksimum sıcaklıktaki nominal gerilim değerini ifade etmektedir.

Güneş panellerin hangi ölçüde paralel bağlanılabileceği de kısa devre akım değerlerine bakılarak bulunur. Gerilimin tersine, kısa devre akım değerleri ışınım ile doğru orantılı olarak değiştiğinden, oluşabilecek maksimum akım değeri, maksimum sıcaklıklarda ortaya çıkacaktır. Maksimum paralel bağlantı sayısı, eviricinin sahip olduğu maksimum giriş akım değerinin, maksimum sıcaklıktaki kısa devre akım değerine bölünmesiyle elde edilir.

$$n_{Maks-paraleldizi} = I_{EVI-MaksGiriş} \div I_{KD-Tmaks} \quad (2.3)$$

Burada;

$n_{\text{Maks-paraleldizi}}$  : Maksimum paralel bağlantı sayısını,

$I_{\text{EVI-MaksGiriş}}$  : Eviricinin maksimum giriş akım değerini,

$I_{\text{KD-Tmaks}}$  : Maksimum sıcaklıktaki kısa devre akımı değerini belirtmektedir.

Güneş panellerinin veri kağıtlarında yazan açık devre gerilim ve kısa devre akım değerleri Standart Test Koşulları (STK) çerçevesinde 25°C için ölçülen değerlerdir. Yukarıda sözü edilen hesaplamaların yapılabilmesi için, açık devre gerilim ve kısa devre akım değerlerinin belirli sıcaklıklardaki değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bu değerler bulunurken güneş panellerinin veri kağıtlarında verilen sıcaklık katsayısı değerleri kullanılır. Genel olarak güneş panel veri kağıtlarında söz konusu katsayılar güç, akım ve gerilim değerleri için verilir. Buna göre 25°C için verilen değerler, söz konusu katsayılar kullanılarak belirli sıcaklık değerleri için yeniden hesaplanır ve sistem tasarımı bu değerlere göre yapılır.

Örnek olarak elektriksel değerleri aşağıda verilen panel ve evirici için İstanbul şartlarında sistem tasarımı aşağıdaki şekilde yapılabilmektedir:

**Çizelge 2.1:** Örnek bir güneş paneli elektriksel verileri.

Panel Özellikleri	
$P_{\text{nom}}$	165 Wp
$U_{\text{AD}}$	110 V
$I_{\text{KD}}$	2,20 A
$U_{\text{nom}}$	85,5 V
$I_{\text{nom}}$	1,93 A
Güç için sıcaklık katsayısı	% -0,31/°C
Gerilim için sıcaklık katsayısı	% -0,30/°C



**Çizelge 2.1 (devam):** Örnek bir güneş paneli elektriksel verileri.

---

Akım için sıcaklık katsayısı	% +0,01/°C
------------------------------	------------

---

Burada;

$P_{nom}$  : Nominal şartlarda güneş panelinin pik gücünü,

$U_{AD}$  : Açık devre gerilim değerini,

$I_{KD}$  : Kısa devre akım değerini,

$U_{nom}$  : Panelin nominal gerilim değerini,

$I_{nom}$  : Panelin nominal akım değerini belirtmektedir.

**Çizelge 2.2:** Örnek bir evirici elektriksel verileri.

---

Evirici Özellikleri

---

Maksimum Giriş Gücü	20450 W
Maksimum Giriş Gerilimi	1000 V
Minimum Giriş Gerilimi	570 V
Maksimum Giriş Akımı	36 A
Maksimum Çıkış Akımı	29 A
Maksimum Çıkış Gücü	20000 W

---

Yukarıda elektriksel değerleri verilen panel ile evirici için bir sistem tasarlanırken, sistemin yapılması planlanan bölgeye ait iklimsel değerlerin ve geçmişe dönük iklimsel verilerin bilinmesi gereklidir. İstanbul için son 40 yıl içerisinde ölçülen en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri Çizelge 2.3’de verilmektedir.

**Çizelge 2.3:** İstanbul’a ait geçmişe dönük sıcaklık değerleri (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2014).

---

Ölçülen en yüksek sıcaklık	41.5°C
Ölçülen en düşük sıcaklık	-11°C

---

Bu durumda yukarıda elektriksel değerleri verilen panel için İstanbul şartlarında oluşabilecek en yüksek açık devre gerilim değerinde  $-11^{\circ}\text{C}$  sıcaklık değeri baz alınacaktır.

$-11^{\circ}\text{C}$ 'deki açık devre gerilim değeri:

$$U_{AD@-11^{\circ}\text{C}} = U_{AD@25^{\circ}\text{C}} \times [1 + (\text{Sıcaklık farkı} \times \text{Gerilim katsayısı})] \quad (2.4)$$

$$U_{AD@-11^{\circ}\text{C}} = 110 \times [1 + (25 - (-11) \times \%0,30)] \quad (2.4a)$$

$$U_{AD@-11^{\circ}\text{C}} = 110 \times [1 + (36 \times 0,0030)] \quad (2.4b)$$

$$U_{AD@-11^{\circ}\text{C}} = 110 \times (1,108) \quad (2.4c)$$

$$U_{AD@-11^{\circ}\text{C}} = 121,88 \text{ V olarak bulunur.} \quad (2.4d)$$

Bir dizideki maksimum panel sayısı:

$$n_{MAKS} = V_{EVI-MaksGiriş} \div U_{Tmin} \quad (2.5)$$

$$n_{MAKS} = 1000 \div 121,88 \quad (2.5a)$$

$$n_{MAKS} = 8,2048 \approx 8 \quad (2.5b)$$

Yapılan hesaplar sonrası bir diziyeye bağlanabilecek maksimum güneş paneli sayısı 8 olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde bir dizideki minimum panel sayısı da ışınım altında oluşabilecek en düşük gerilim değeri üzerinden hesaplanır:

$$U_{nom@70^{\circ}\text{C}} = U_{nom} \times [1 + (\text{Sıcaklık farkı} \times \text{Gerilim katsayısı})] \quad (2.6)$$

$$U_{nom@70^{\circ}\text{C}} = 85,5 \times [1 + (25 - (70) \times \%0,30)] \quad (2.6a)$$

$$U_{nom@70^{\circ}\text{C}} = 85,5 \times [1 - (45 \times 0,0030)] \quad (2.6b)$$

$$U_{nom@70^{\circ}\text{C}} = 85,5 \times (0,865) = 73,9575 \text{ V} \quad (2.6c)$$

Yapılan hesap doğrultusunda  $70^{\circ}\text{C}$ 'deki nominal gerilim değeri 73,9575 V olarak bulunmuştur.

$$n_{MIN} = U_{INV-MinGiriş} \div U_{Tmaks} \quad (2.7)$$

$$n_{MIN} = 570 \div 73,9575 \quad (2.7a)$$

$$n_{MIN} = 7,707 \approx 8 \quad (2.7b)$$

Bir diziye bağlanabilecek minimum güneş paneli sayısı da 8 olarak bulunmuştur.

Özellikle yaz aylarında güneş panel sıcaklıklarının yüksekliği nedeniyle, hesaplamada sıcaklık baz değeri olarak 70°C alınmıştır. Güneş panellerinde çok istisnai durumlar dışında, genel olarak ortam sıcaklık değerlerinden daha yüksek sıcaklık değerleri ölçülebilmektedir.

Sisteme 8 adetten daha az sayıda panel bağlanılabılır. Ancak bu durumda, söz konusu sıcaklık değerinde, eviricide yeterli gerilim oluşmayacağından evirici çalışmayacak ve sistem enerji üretmeyecektir. Bu durumun önüne geçilmesi amacıyla dizideki en düşük panel sayısı 8 olarak belirlenebilmektedir.

Bu doğrultuda yukarıda elektriksel değerleri verilen panel ve evirici için İstanbul şartlarında bir dizi, 8 panelden oluşabilecektir.

Paralel bağlantı sayısına baktığımızda da;

$$I_{Tmaks} = I_{KD@25^{\circ}C} \times [1 + (\text{Sıcaklık farkı} \times \text{Akım katsayısı})] \quad (2.8)$$

$$I_{@70^{\circ}C} = 2,20 \times [1 + \{(70 - 25) \times \%0,01\}] \quad (2.8a)$$

$$I_{@70^{\circ}C} = 2,20 \times [1 + \{45 \times 0,0001\}] \quad (2.8b)$$

$$I_{@70^{\circ}C} = 2,20 \times [1 + 0,0045] \quad (2.8c)$$

$$I_{@70^{\circ}C} = 2,20 \times 1,0045 \approx 2,2099 \quad (2.8d)$$

Elde edilen maksimum akım değeri paralel bağlantı sayısını bulmak amacıyla kullanılmaktadır:

$$n_{paraleldizi} = I_{INV-MaksGiriş} \div I_{Tmaks} \quad (2.9)$$

$$n_{paraleldizi} = 36 \div 2,2099 \quad (2.9a)$$

$$n_{\text{paraleldizi}} = 16,29 \approx 16 \quad (2.9b)$$

Eviriciye paralel bağlanabilecek dizi sayısı da 16 olarak bulunmuştur.

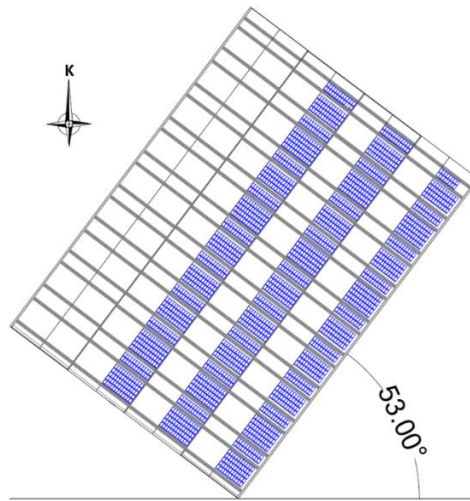
Sonuç olarak yukarıda verilen elektriksel veriler ışığında maksimum bağlanabilecek panel sayısı, 8 seri ve 16 paralel olmak üzere toplam 128 adettir. Her biri 165 Wp gücündeki 128 panelin toplam güç kapasitesi 21,12 kWp olacak ve 20 kW gücündeki eviriciye bağlanacaktır. Güneş ışınlarının yeryüzüne en yoğun düştüğü öğle saatlerinde eviricinin verimi,  $20\text{kW} / 21,12\text{kW} \approx \%94,7$  olarak gerçekleşecektir. Diğer zamanlarda paneller genel olarak tam kapasitede çalışmadığından, yani maksimum pik güç olan 165 Wp gücüne ulaşmadığından, sistemden daha fazla enerji üretilmesi sağlanarak, azami derecede faydalanılacaktır. Bu noktada panel sayısı azaltılıp, öğle saatlerindeki evirici verimi artırılabilir, ancak bu durum panellerin maksimum pik gücünde çalışmadığı diğer zamanlar için sistemden daha az enerji üretileceği anlamına gelecektir. Yapılan tasarım bu noktada önem teşkil etmekte ve sistemin yapıldığı lokasyona bağlı olarak tasarımılandırılması gerekmektedir. Ek olarak güneş panellerinin veri kağıtlarında belirtilen oranlarda yıldan yıla verim kaybı da yaşanacağından, başlangıç aşamasında toplam panel pik gücünün evirici güç değerinin üstünde tasarlanması da önerilmektedir.

### 3. MEVCUT FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN TEKNİK ANALİZİ

Bu tez kapsamında kurulumu 2013 Temmuz ayında tamamlanan Prokon-Ekon Şirketler Grubu'na ait Ankara'daki imalat fabrikasının çatısına uygulanmış 495,88 kWp kapasiteli Fotovoltaik Güç Sistemi teknik ve mali yönden incelenmiştir. Söz konusu sistem; 2011 yılında yayınlanan *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* kapsamında TEDAŞ tarafından onayı yapılan ilk fotovoltaik güç sistemi olma özelliğine sahiptir. Fabrika çatısının mevcut açısının ve konumunun özelliklerine göre tasarlanan Fotovoltaik Güç Sistemi'nde polikristal hücre ve dizi evirici teknolojisi tercih edilmiştir.

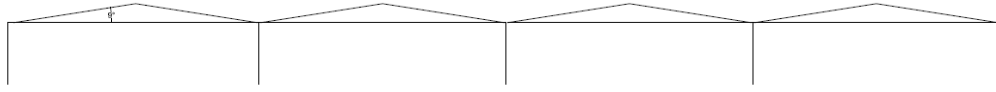
İlgili fabrika binasının yön ve çatı eğimi özellikleri Ankara şartlarında bir Fotovoltaik Güç Sistemi için optimum özelliklere sahip değildir. Bir fotovoltaik güç sistemi için optimum azimut açısı  $0^\circ$ 'dir, yani paneller tam olarak güneye doğru konumlandırılmış olmalıdır. Ancak incelenen söz konusu bina için bu azimut değer  $53^\circ$ 'dir. Yine benzer şekilde Ankara şartlarında bir fotovoltaik güç sisteminde panellerin yatayla yaptığı açının  $30-32^\circ$  olması yüzeye gelen güneş ışınlarından azami derecede yararlanılması anlamına gelmektedir. Yine söz konusu bina için çatı açısı ve sonuç olarak panel açısı  $9^\circ$  olarak kaydedilmiştir.

Söz konusu binanın konum bilgilerini gösteren çizim Şekil 3.1'de verilmektedir.



**Şekil 3.1:** Binanın ve fotovoltaik güç sisteminin kuşbakışı görünümü.

Çatının eğimini ve yandan görünümünü veren çizim de Şekil 3.2’de gösterilmektedir:



**Şekil 3.2:** Binanın yandan görünümü.

### 3.1 Sistem Tasarımı

Bu bölümde tez kapsamında incelenen fotovoltaik güç sisteminde kullanılan güneş paneli ve evirici tasarımının teknik detayları açıklanmaktadır. İlgili tasarım hesaplarına ek olarak, sistem üretim öngörüsü ve sistemin performansının nasıl ölçüleceğine dair bilgilere de yer verilecektir. Sistemin kurulumundan itibaren kaydedilen üretim ve ışınım değerleri yardımıyla sistemin performans oranı hesaplanacak ve tasarım aşamasında profesyonel bir simülasyon programıyla öngörülen sistem performans oranına ulaşıp ulaşılamadığı irdelenecektir. Son olarak da, kaydedilen ışınım verileri ile simülasyon programında tahmin edilen ışınım değerlerinin doğruluğu da karşılaştırılacaktır.

#### 3.1.1 Fotovoltaik panel

Sistem dahilinde pik gücü 245 Wp olan polikristal hücre teknolojisine dayalı güneş panelleri kullanılmıştır. İlgili panelin elektriksel değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Sistemde kullanılan güneş paneline ait elektriksel özellikler.

Panel Özellikleri	
$P_{nom}$	245 Wp
$U_{AD}$	37,3 V
$I_{KD}$	8,47 A
$U_{nom}$	30,7 V
$I_{nom}$	7,98 A
Güç için sıcaklık katsayısı	% -0,43/°C

**Çizelge 3.1 (devam):** Sistemde kullanılan güneş paneline ait elektriksel özellikler.

Gerilim için sıcaklık katsayısı	% -0,32/°C
Akım için sıcaklık katsayısı	% +0,047/°C

### 3.1.2 Evirici

Sistemde her biri 20 kW güce sahip dizi eviriciler kullanılmıştır. İlgili eviricinin elektriksel değerleri de Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2:** Sistem dahilinde kullanılan eviriciye ait elektriksel veriler.

Evirici Özellikleri	
Maksimum Giriş Gücü	20450 W
Maksimum Giriş Gerilimi	1000 V
Minimum Giriş Gerilimi	570 V
Maksimum Giriş Akımı	36 A
Maksimum Çıkış Akımı	29 A
Maksimum Çıkış Gücü	20000 W

### 3.1.3 Tasarım

Yukarıda elektriksel özellikleri verilen güneş paneli ve evirici için sistem tasarımı Ankara şartlarında yapılmış ve toplam sistem kapasitesi belirlenmiştir. Bölüm 3.1.’de örnek bir güneş paneli ve evirici için İstanbul şartlarında yapılan sistem tasarım hesapları, mevcut fotovoltaik güç sisteminde kullanılan güneş paneli ve evirici için Ankara şartlarında gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.3.1. Dizi hesabı

Bölüm 2.6.2’de belirtildiği gibi öncelikle fotovoltaiik güç sisteminin yapılacağı bölgenin geçmişe dönük sıcaklık verileri elde edilerek, hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Ankara için 1954 senesinden itibaren kaydedilen en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri Çizelge 3.3’te verilmektedir.

**Çizelge 3.3:** Ankara’ya ait geçmişe dönük sıcaklık değerleri (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2014).

Ölçülen en yüksek sıcaklık	41°C
Ölçülen en düşük sıcaklık	-21,4°C

Elde edilen en yüksek ve en düşük sıcaklık verileri ışığında bir dizide kullanılabilecek maksimum güneş paneli adeti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

-21,4°C’deki açık devre gerilim değeri:

$$U_{AD@-21,4^{\circ}C} = U_{AD@25^{\circ}C} \times [1 + (\text{Sıcaklık farkı} \times \text{Gerilim katsayısı})] \quad (3.1)$$

$$U_{AD@-21,4^{\circ}C} = 37,3 \times [1 + (25 - (-21,4) \times \%0,32)] \quad (3.1a)$$

$$U_{AD@-21,4^{\circ}C} = 37,3 \times [1 + (46,4 \times 0,0032)] \quad (3.2b)$$

$$U_{AD@-21,4^{\circ}C} = 37,3 \times (1,14848) = 42,8383 \text{ V} \quad (3.2c)$$

Bu durumda bir dizideki maksimum panel sayısı:

$$n_{MAKS} = V_{EVi-MaksGiriş} \div U_{Tmin} \quad (3.3)$$

$$n_{MAKS} = 1000 \div 42,8383 \quad (3.3a)$$

$$n_{MAKS} = 23,3436 \approx 23 \quad (3.3b)$$

Bir diziyeye bağlanabilecek maksimum güneş paneli sayısı 23 olarak bulunmuştur.

Bir dizide kullanılabilecek minimum panel sayısı da:

$$U_{AD@70^{\circ}C} = U_{AD@25^{\circ}C} \times [1 + (\text{Sıcaklık farkı} \times \text{Gerilim katsayısı})] \quad (3.4)$$



$$U_{AD@70^{\circ}C} = 37,3 \times [1 + (25 - (70) \times \%0,32)] \quad (3.4a)$$

$$U_{AD@70^{\circ}C} = 37,3 \times [1 - (45 \times 0,0032)] \quad (3.4b)$$

$$U_{AD@70^{\circ}C} = 37,3 \times (0,856) = 31,9288 \text{ V} \quad (3.4c)$$

Bu durumda bir dizideki minimum panel sayısı da:

$$n_{MIN} = U_{EVI-MinGiriş} \div U_{Tmaks} \quad (3.5)$$

$$n_{MIN} = 570 \div 31,9288 \quad (3.5a)$$

$$n_{MIN} = 17,852 \approx 18 \quad (3.5b)$$

Bir diziye bağlanabilecek minimum güneş paneli sayısı 18 olarak bulunmuştur.

Paralel bağlantı sayısını baktığımızda da;

$$I_{Tmaks} = I_{KD@25^{\circ}C} \times [1 + (Sıcaklık farkı \times Akım katsayısı)] \quad (3.6)$$

$$I_{@70^{\circ}C} = 8,47 \times [1 + \{(70 - 25) \times \%0,047\}] \quad (3.6a)$$

$$I_{@70^{\circ}C} = 8,47 \times [1 + \{45 \times 0,00047\}] \quad (3.6b)$$

$$I_{@70^{\circ}C} = 8,47 \times [1 + 0,02115] \quad (3.6c)$$

$$I_{@70^{\circ}C} = 8,47 \times 1,02115 \approx 8,65 \quad (3.6d)$$

Bu durumda paralel dizi sayısı da:

$$n_{paraleldizi} = I_{INV-MaksGiriş} \div I_{Tmaks} \quad (3.7)$$

$$n_{paraleldizi} = 36 \div 8,65 \quad (3.7a)$$

$$n_{paraleldizi} = 4,1618 \approx 4 \quad (3.7b)$$

Yapılan hesaplar sonucu eviriciye paralel bağlanabilecek dizi sayısı da 4 olarak bulunmuştur.

Bir adet eviriciye kaç adet güneş paneli bağlanılacağı ve bu bağlantıların nasıl yapılacağına seçimi yukarıdaki hesap sonuçları doğrultusunda yapılmıştır. Sistem

dahilinde bir adet dizi içerisinde 23 adet güneş paneli olacağı ve bir eviriciye 4 adet paralel bağlantı şeklinde 4 adet dizi girilmesi kararlaştırılmıştır. Bir adet eviricide 4x23 olmak üzere toplam 92 adet güneş paneli bağlantısı yapılmasına karar verilmiştir. Bu durumda her bir dizide ve eviricide oluşacak toplam güç:

$$P_{dizi} = n_{panel} \times P_{panel} \quad (3.8)$$

$$P_{dizi} = 23 \times 245 \text{ Wp} = 5,635 \text{ kWp} \quad (3.8a)$$

Her bir dizi toplam gücü 5,635 kWp olarak bulunmuştur.

$$P_{evirici-giriş} = n_{panel} \times P_{panel} \quad (3.9)$$

$$P_{dizi} = 23 \times 4 \times 245 \text{ Wp} = 22,540 \text{ kWp} \quad (3.9a)$$

Her bir evirici için toplam giriş gücü de 22,54 kWp olarak bulunmuştur.

Proje kapsamında toplam 22 adet evirici kullanılmıştır. Böylece sistem toplam kurulu gücü:

$$P_{sistem} = n_{evirici} \times P_{evirici-giriş} \quad (3.10)$$

$$P_{sistem} = 22 \times 22,540 = 495,88 \text{ kWp} \quad (3.10a)$$

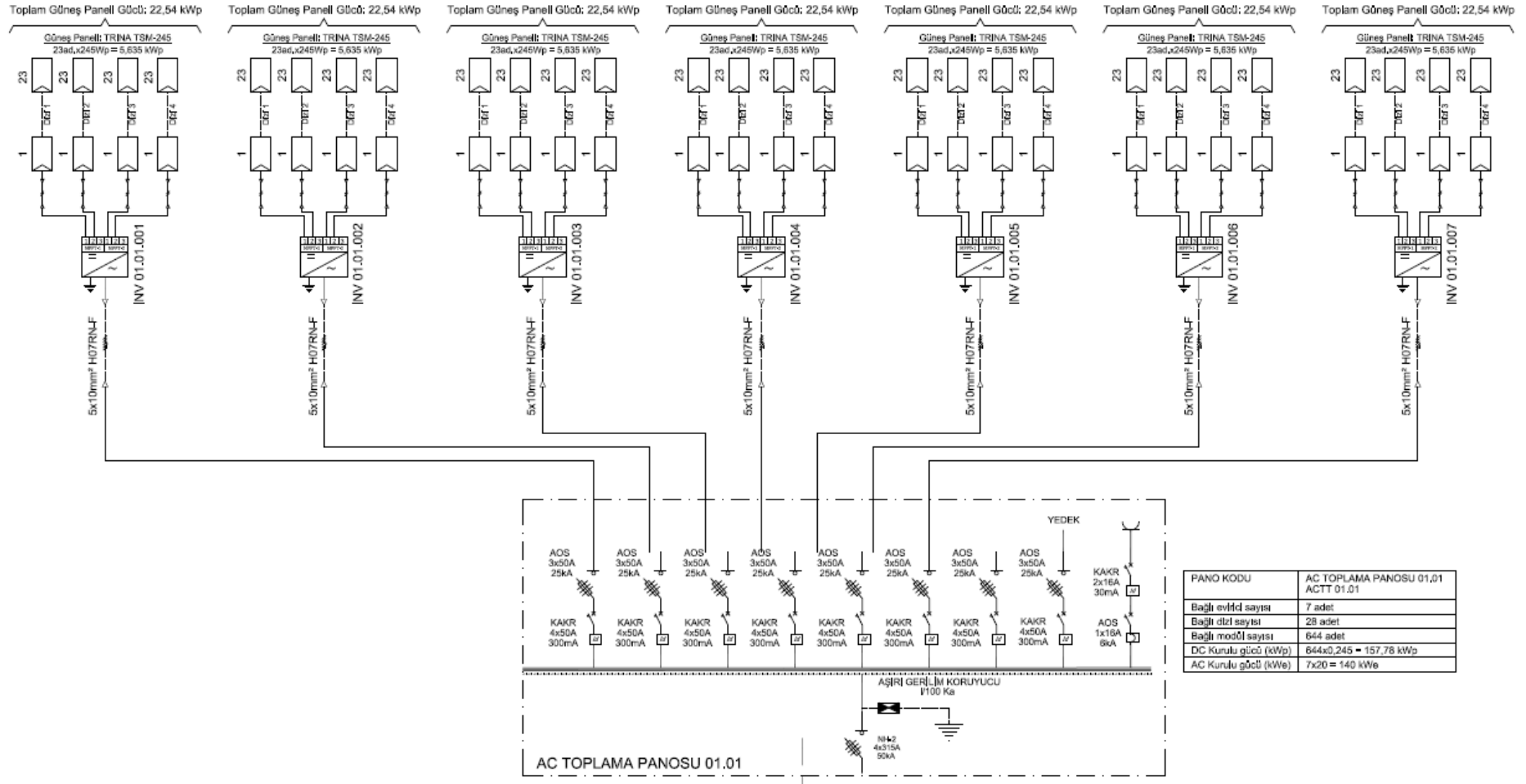
Evirici cinsinden toplam AC güç ise:

$$P_{sistem} = n_{evirici} \times P_{evirici-çıkış} \quad (3.11)$$

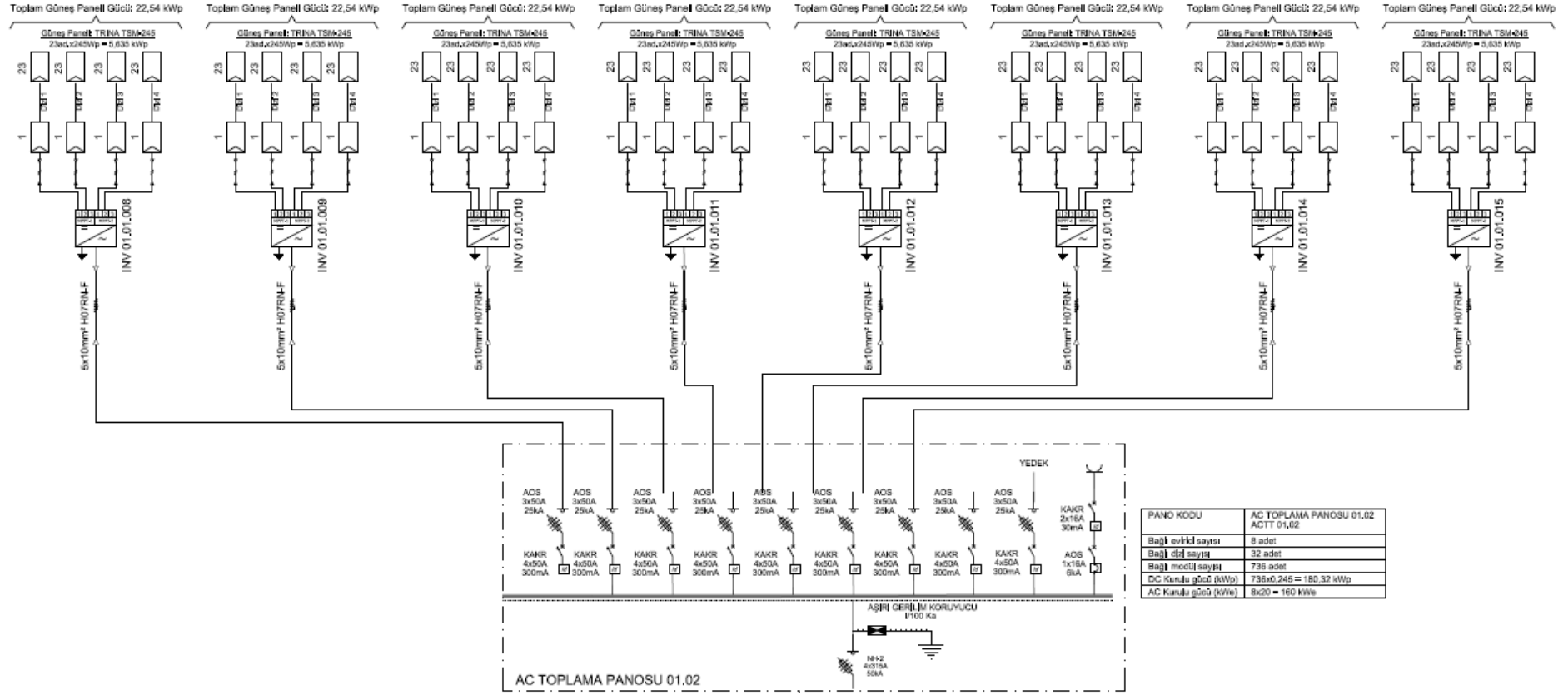
$$P_{sistem} = 22 \times 20 = 440 \text{ kWe} \quad (3.11a)$$

### 3.1.3.2 Sistem bağlantısı

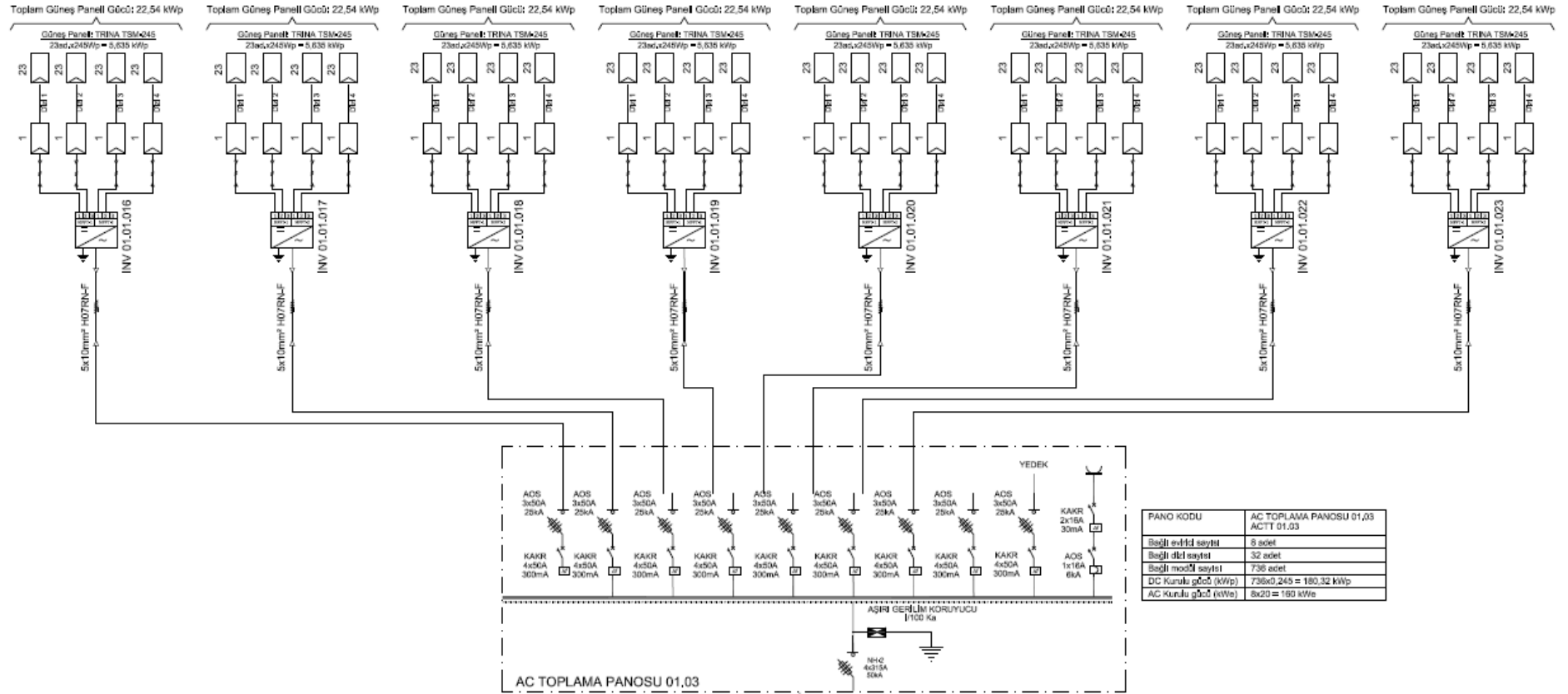
Sistem dahilindeki 22 adet evirici 7+8+7 şeklinde 3 gruba ayrılmıştır. Her bir gruptaki eviriciler kendi içlerinde toplama panolarında birleştirilmiştir. Toplamda 3 adet toplama panosu da 1 adet ana toplama panosunda birleştirilip, binanın dışında mevcutta bulunan 1250 kVA gücündeki trafoya bağlantı, bu ana toplama panosu üzerinden yapılmıştır. Sistem bağlantılarını gösteren Tek Hat Şemaları Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.3: Birinci toplama panosuna ait Tek Hat Şeması.

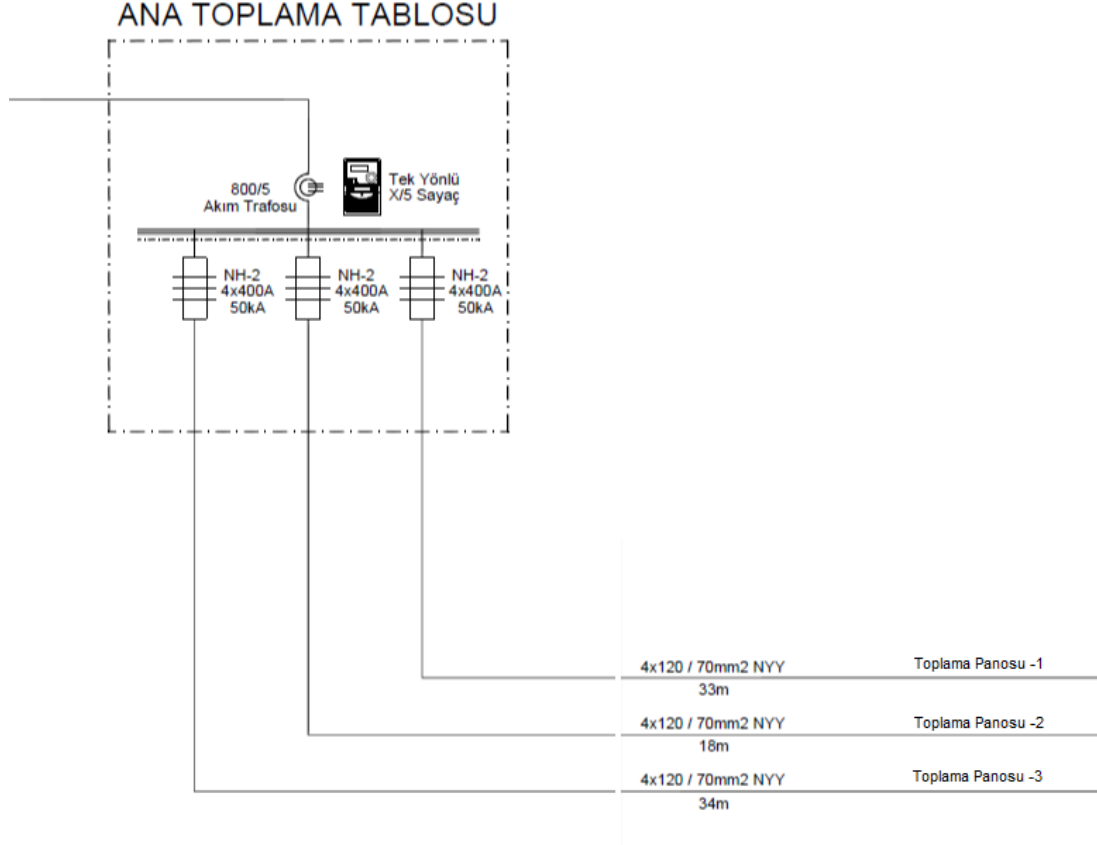


Şekil 3.4: İkinci toplama panosuna ait Tek Hat Şeması.



Şekil 3.5: Üçüncü toplama panosuna ait Tek Hat Şeması.

TABLO KODU	ANA TOPLAMA TABLOSU ATT
Bağlı evirici sayısı	22 adet
Bağlı dizi sayısı	88 adet
Bağlı modül sayısı	2024 adet
DC Kurulu gücü (kWp)	2024x0,245 = 495,88 kWp
AC Kurulu gücü (kWe)	22x20 = 440 kWe



**Şekil 3.6:** Ana toplama panosuna ait Tek Hat Şeması.

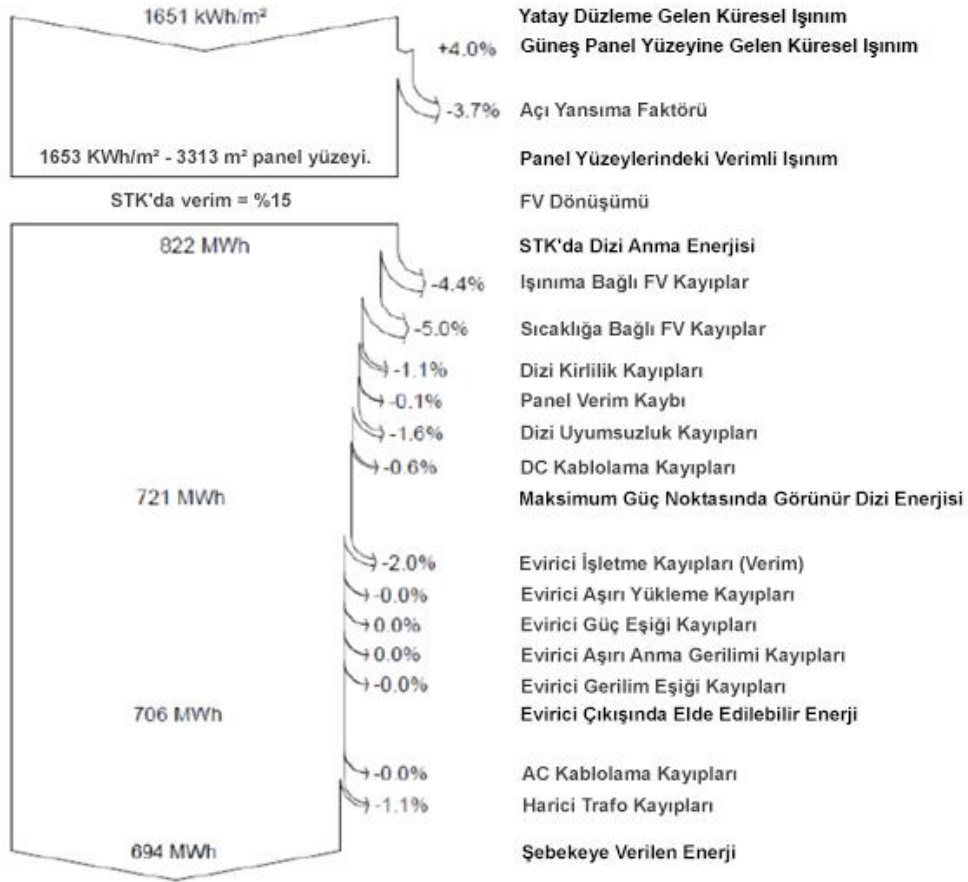
Sistem dahilinde yukarıda da belirtildiği gibi söz konusu 3 adet toplama panosu, 1 adet ana toplama panosunda birleştirilmiş ve mevcuttaki trafonun Alçak Gerilim çıkışlarından birine irtibatlandırılmıştır. Bölge Elektrik Dağıtım Şirketi tarafından verilen Bağlantı Görüşü ve *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* kapsamında gerekli olan çift yönlü sayaç, trafo sonrası Orta Gerilim hücrelerinden birine irtibatlandırılmıştır. Çift yönlü sayaç sayesinde şebekeye verilen elektrik enerjisi ve şebekeden çekilen elektrik enerjisi değerleri kaydedilerek, mahsuplaşma sağlanmıştır. Mevcut durumda sistem elektrik enerjisi üretecek, üretilen bu elektrik enerjisi binada elektrik tüketimi olduğu zamanlarda, tüketim ve üretim değer farkına göre şebekeye verilecek ya da verilmeyecektir. Bina elektrik enerjisi tüketiminin sistem elektrik üretim değerinden yüksek olduğu zamanlarda, şebekeden elektrik enerjisi beslemesi olacak ve fotovoltaik güç sistemi tarafından üretilen enerji

bina için tasarruf anlamına gelecektir. Bina elektrik tüketiminin olmadığı ya da üretimden daha az olduğu durumlarda ise, şebekeye elektrik enerjisi verilecek ve *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* kapsamında belirlenen 0,133 ABD\$/kWh birim fiyatı üzerinden enerji satışı yapılacaktır.

Ek bir bilgi olarak, Türkiye şartlarında endüstriyel ve ticari kuruluşlar için elektrik enerjisi alış fiyatı, kWh birim fiyat olarak, *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* kapsamında belirlenen birim fiyatın (0,133 ABD\$/kWh) altında seyretmektedir. Böyle bir durumda, ilave bir trafo merkezi ve ek bileşenleri güç sistemi kapsamında inşa edilerek, üretilen elektrik enerjisinin ayrı olarak şebekeye verilmesi ve doğrudan enerji satışı yapılması bu tip kuruluşlar için daha avantajlı olabilmektedir. Trafo merkezi ve orta gerilim hücre maliyetleri ilk yatırımı artırmakta ancak elektrik enerjisi kWh cinsinden birim fiyatlar arasındaki farka göre elde edilebilecek üstünlüğü ve getiriye artırabilmektedir. Bu iki bağlantı alternatifinin projeye özel olarak değerlendirilmesi ve en optimum çözümün irdelenmesi gerekmektedir.

#### **3.1.4 Sistem üretim öngörüsü**

Sistem tasarımı sürecinde profesyonel bir simülasyon programı kullanılarak sistemin yıllık üretim değer öngörüsü hesaplanmıştır. Programda yukarıda elektriksel ve teknik özellikleri verilen güneş paneli ve evirici modelleri sistem dahilinde seçilmiş, öngörülen sistem kayıp oranları vs. programa veri olarak girilerek yıllık Sistem Performans Oranı (SPO) ve öngörülen yıllık üretim değeri belirlenmiştir. Bu yaklaşıma göre, ilgili proje için hazırlanan simülasyon raporundaki kayıp diyagramı Şekil 3.7'deki gibidir:



**Şekil 3.7:** Sistem için yapılan simülasyon raporundaki verilen kayıp diyagramı.

Burada;

*Yatay Düzleme Gelen Küresel Işınım [kWh/m<sup>2</sup>]*, üretim ve Sistem Performans Oranı öngörüsü açısından başlangıç noktası olarak oldukça önemlidir. Geçmişten bugüne meteorolojik veriler ışığında belirlenen söz konusu değer, simülasyon programı kapsamında yapılan güncellemeler ile zamanla değişebilmektedir.

*Güneş Panel Yüzeyine Gelen Küresel Işınım [kWh/m<sup>2</sup>]*, panel eğim açısına göre kayıpları ya da kazanımları ifade etmektedir. Güneş panelleri belirli açılarla yerleştirildikleri için, yataya gelen küresel ışınım üzerinden, yerleştirildikleri açılara göre ışınım açısından bir kazanıma ya da kayba uğrarlar. Örnek olarak kuzey yarım kürede herhangi bir bölge için güneye doğru optimum bir açıyla bu kazanım en yüksek seviyeye çıkarken, eğimin azalması ya da panellerin diğer yönlere doğru bakması kazanımı azaltabilmekte ve hatta kayba yol açabilmektedir.

*Açı Yansımaya Faktörü*, optik kayıpları ifade etmektedir.



*Panel Yüzeylerindeki Verimli Işınım*, optik kayıplar sonrası güneş panel yüzeylerine gelen toplam verimli ışınımı [ $\text{kWh/m}^2$ ] göstermektedir. Bir üst sekmeden  $\text{kWh/m}^2$  olarak gelen ışınım değeri, toplam güneş panel alanı [ $\text{m}^2$ ] ile çarpılır. Elde edilen değer, sistem dahilinde seçilen güneş panelinin verimi (Standart Test Koşulları altında güneş paneli veri kağıdında yazan verim oranı) ile çarpılır ve toplam verimli ışınım değeri [ $\text{MWh}$ ] bulunur.

*Işınımına Bağlı FV Kayıplar*, panel yüzeylerine gelen verimli ışınım sonrası ışınım kaynaklı kayıpları ifade etmektedir.

*Sıcaklığa Bağlı FV Kayıplar*, sıcaklık kaynaklı kayıpları ifade etmektedir. Eviricilerin çalışmaya başlamaları için gerekli gerilim değeri evirici tipine bağlı olarak değişmektedir. Bir dizideki gerilim değeri de sıcaklıkla orantılı olduğundan; bölgeden bölgeye ve eviriciden eviriciye olmak üzere özellikle sabahları sistemin devreye girme zamanı farklılık gösterebilmektedir. Bu değer sistemin devreye girmesi ile ilgili bu zaman farklılıkları nedeniyle oluşan enerji kaybını yüzdesel bazda göstermektedir.

*Dizi Kirlilik Kayıpları*, bölgeden bölgeye değişebilecek olan kirlilik nedeniyle gerçekleşen kayıpları ifade etmektedir. Yüzdesel bazda yıl içerisinde panellerin kirlilik nedeniyle elektrik enerjisi üretemeyeceği zamanı gösterir. Özellikle endüstriyel bölgelerde, kış süresince çok fazla kar yağışı alan ya da çöl ikliminin hakim olduğu bölgelerde önemi çok daha fazladır.

*Panel Verim Kaybı*, proje için seçilen güneş panelinin karakteristik bir özelliği olarak zamanla veriminde gerçekleşen kayıpları gösterir.

*Dizi Uyumsuzluk Kayıpları*: Bir dizideki tüm güneş panelleri eşit akım ve gerilim değerlerinde çalışmazlar. Bir dizinin akım değerini, o dizi içerisindeki en düşük akım değerine sahip olan güneş paneli belirler. Böyle bir durumda söz konusu akım değerinden daha yüksek akımda çalışan güneş panelleri kaynaklı potansiyel bir üretim kaybı söz konusu olacaktır. İlgili değer bu kayıpları ifade etmektedir.

*DC Kablolama Kayıpları*, proje dahilinde DC taraftaki kablolama kaynaklı kayıpları yüzdesel olarak ifade etmektedir. Bu değer DC kablo uzunluklarına ve kesitlerine göre değişmektedir. Türkiye’de gerçekleştirilen projelerde genel olarak maksimum DC kayıp oranları %1 olacak şekilde tasarlanmaktadır.

*Maksimum güç noktasındaki (MPP) Görünür Dizi Enerjisi*, yukarıda açıklanan sekmeler sonrası güneş paneli ile ilgili kayıplar yansıtıldıktan sonra üretilebilecek

potansiyel elektrik enerjisini göstermektedir. Diyagram içerisinde, güneş paneli, bölgesel ve iklimsel kayıplar, DC kablolama gibi kayıplar belirtilmiştir ve sonraki sekmelerde artık evirici ile alakalı kayıplar gösterilmeye başlanacaktır.

*Evirici İşletme Kayıpları*, evirici verimi dolayısıyla kaybedilecek enerji oranını gösterir. Sistemdeki eviricinin doğru akımı alternatif akıma çevirme yeteneğine göre, dolayısıyla genel olarak evirici verimine göre üretilemeyecek elektrik enerjisini ifade etmektedir.

*Evirici Aşırı Yükleme Kayıpları*: Eviricilerin toplam AC kapasitesinden daha yüksek bir güçte DC güç kapasitesine maruz bırakılması, belli zamanlarda potansiyel üretilebilecek enerjinin kayba dönüşmesine neden olmaktadır. Sistem tasarımına göre değişen bu oran, böyle zamanlarda gerçekleşecek olan kayıpları temsil etmektedir.

*Evirici Güç Eşiği Kayıpları*, eviricinin teknik özellikleri dahilinde belirtilen güç eşiği dolayısıyla evirici kaynaklı kayıpları ifade etmektedir.

*Evirici Aşırı Anma Gerilimi Kayıpları*, evirici karakterine göre değişen evirici nominal gerilim değerleri ile ilgili kaybı ifade etmektedir. Sıcaklıkla değişiklik gösteren bir dizideki gerilim değeri, evirici veri kağıtlarında da belirtilen evirici nominal gerilim değerlerinden belli zamanlarda düşük ya da yüksek olabilir. Bu zamanlarda meydana gelebilecek enerji kayıpları yüzdesel bazda bu sekmede verilir.

*Evirici Gerilim Eşiği Kayıpları*, eviricinin teknik özellikleri dahilinde belirtilen gerilim eşiğini, dolayısıyla evirici kaynaklı kayıpları göstermektedir.

Genelde simülasyon raporu kapsamında evirici ile ilgili kayıplar içerisinde verim nedenli kayıp ve aşırı yükleme kaynaklı kayıplar dışında, diğer sekmelerdeki kayıplar oldukça önemsizdir ve genelde %0 olarak gözükmektedir.

*Evirici Çıkışında Elde Edilebilir Enerji*, evirici kaynaklı kayıpların hesaplanması sonrası evirici çıkışında üretilebilecek potansiyel elektrik enerjisini ifade eder.

*AC Kablolama Kayıpları*, evirici sonrası AC kablolar kaynaklı kayıplar yüzdesel olarak ifade etmektedir. AC kabloların uzunluk ve kesitlerine göre değişiklik gösteren bu değer, Türkiye’de genel olarak maksimum %2 olacak şekilde tasarlanmaktadır.

*Harici Trafo Kayıpları*, trafo işletmesi kaynaklı kayıpları ifade etmektedir. Trafonun kendi öz tüketiminden ve yıl içerisindeki veriminden kaynaklı bir kayıptır.

*Şebekeye Verilen Enerji*, yukarıda belirtilen kayıplar sonrası şebekeye verilebilecek elektrik enerjisini göstermektedir [MWh].

Simülasyon kapsamında oluşturulan kayıp diyagramında, bu proje için yapılan diyagramda olmayan daha birçok farklı parametreye bağlı kayıplar da yer alabilmektedir. Projelerle ilgili tasarımların programa aktarılması ya da program içerisinde çizilmesi şartıyla gölgelenmeye bağlı kayıplar da hesaplanabilmektedir. Ya da güneş panellerinde meydana gelecek ışınım kaynaklı bozunma oranları (*Light Induced Degradation –LID-*) ek bir kayıp sekmesi olarak diyagramda gösterilebilmektedir.

Şekil 3.7’de verilen kayıp diyagramından da görüldüğü üzere ilgili programda Ankara için küresel ışınım değeri yıllık  $1.651 \text{ kWh/m}^2$  iken  $9^\circ$ ’lik çatı açısı sonrası panel yüzeyine gelen ışınım %4 oranında artmaktadır. Diğer parametreler için de yüzdesel olarak kazanım ve kayıplar diyagram üzerinde gösterilmiş, simülasyon programında bu ilgili değerler seçilerek veya sistem özelliklerine göre otomatik olarak belirlenerek yıllık öngörülen üretim değeri belirlenmiştir. Söz konusu proje için kabul edilen şartlar dahilinde yıllık üretim değeri yaklaşık olarak  $694.000 \text{ kWh}$  olarak öngörülmüştür. Sistem Performans Oranı da %82,4 olarak hesaplanmıştır. Yıllık bazda kWh cinsinden kWp başına spesifik üretim değeri de  $1.398 \text{ kWh/kWp}$  olarak ortaya çıkmıştır.

Bu simülasyonlar ve sistem üretim öngörülere projelerin planlama aşamasında çok önemli olduğu için, yatırımları da doğrudan etkilemektedir. Üretim ve performans öngörülerinin tutarlı ve olabildiğince doğru olması, simülasyon programı yazılımına, kullanılacak bileşenlerin elektriksel ve diğer verilerinin programda doğru tanımlanmış olmasına, doğru mühendislik hesaplamalarına ve tecrübe gibi etkenlere bağlıdır. Mevcutta kurulumu tamamlanmış ve verileri elde edilebilen fotovoltaik güç sistemlerinin üretim ve performans değerlerinin, inşa aşamasındaki simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırmalarının yapılması hem programın güvenilirliği ve doğru çalışırılığı, hem de simülasyonun doğru ve güvenilir yapıp yapılmadığı ile ilgili bilgiler vermesi açısından oldukça önemlidir. Bu konu uluslararası alanda da çokça araştırılan ve tartışılan bir husustur. Fotovoltaik Güç Sistemleri ile ilgili çalışmalar yapan mühendislik firmaları ve konuyla ilgili araştırmalar yapan akademik kuruluşlar, programın güvenilirliği ve yapılan çalışmaların doğruluğunu irdelemek amacıyla çalışmalar yapmaya devam etmektedirler.

### 3.1.5 Sistem performans oranı

Sistem Performans Oranı (SPO), en basit anlamda birim ışınım miktarı için şebekeye verilen birim elektrik enerjisidir. SPO oranı bu doğrultuda yüzdesel olarak hesaplanır. Sistemin yıllık bazda yataya gelen küresel ışınım değeri için, öngörülen kayıplar ve kaçaklar çıkarıldıktan sonra şebekeye verilebilecek toplam elektrik enerjisi miktarını ifade etmektedir. Genel anlamda fotovoltaik güç sistemleri için verimi ve kaliteyi gösteren önemli bir parametredir. SPO 3.12 nolu formüle göre hesaplanmaktadır:

$$SPO = \frac{E_{ac} \times I_{stc}}{P_{nom} \times H} \quad (3.12)$$

Burada;

$E_{ac}$  : Sistemin belirlenen zaman dilimi içerisinde ürettiği elektrik enerjisini [kWh],

$I_{STC}$  : Standart Test Koşulları altında 1 kWp/m<sup>2</sup> olarak alınan gün ışığı radyasyonu değerini,

$P_{nom}$  : Sistemin kWp cinsinden toplam kapasitesini,

$H$  : Belirlenen zaman dilimi içerisinde sistem dahilindeki güneş panellerinin üzerine düşen küresel radyasyon değerini [kWh/m<sup>2</sup>] ifade eder.

Bu değer belirlenirken, güneş panellerinin veri kağıtlarında da belirtildiği şekilde yıldan yıla verimlerinde azalmaların gerçekleştiği de dikkate alınmalıdır. Genel olarak kristal teknolojisine dayalı güneş panellerinin verimleri üretimlerinden sonraki ilk yıl için %2-4, sonraki yıllar için de her yıl bazında %1 ila 0,7 arasında düşüş göstermektedir.  $P_{nom}$  değerinde sistemin kWp cinsinden toplam kapasite yazılırken yıllara bağlı bu verim düşümleri de dikkate alınmalıdır.

Yine önemli noktalardan biri, üretilen elektrik enerjinin karşılaştırılması için referans alınan küresel radyasyon değeridir. Güneş panellerinin belirli bir açıyla yerleştirilmiş olması sebebiyle, güneş panelleri üzerine düşen küresel radyasyon değeri, yataya düşen küresel radyasyon değerinden farklılık gösterecektir (Panellerin güneye doğru eğimli olması radyasyon değerini artıracak, tersine kuzeye doğru eğimli olması yataya gelen radyasyon değerinden daha düşük bir radyasyon değerinin güneş panelleri üzerine düşmesine neden olacaktır). Işınım değerlerinin alınması için yaygın olarak piranometre denilen cihazlar kullanılmaktadır. Doğru ve sağlıklı bir karşılaştırma

yapılabilmesi için referans alınacak ışınım değerleri ölçümleri, güneş panelleriyle aynı açıyla yerleştirilmiş bir piranometre ile yapılmalıdır.

SPO hesabında önemli iki parametre, üretilen enerji miktarı ( $E_{AC}$ ) ile ışınım değeridir (H).  $I_{STC}$  değerinin sürekli sabit olması –Standart Test Koşulları- ve yıllık bazda bir verim düşümü dikkate alındığı için kWp cinsinden sistem toplam kapasitesinin aylar bazında değişiklik göstermemesi nedeniyle, sistemin SPO değerini belirleyen iki parametre  $E_{AC}$  ve H değerleridir. Aylar bazında sistem performansı değerlendirilirken daha sağlıklı yorum yapılabilmesi için, bu iki değer beraber gösterildiği grafikler ya da karşılaştırmalı veriler kullanılmaktadır. Genel itibariyle, güneş enerji santrallerinin SPO değerleri ilkbahar ve yaz aylarında daha düşük, kış aylarında ise daha yüksek çıkmaktadır. Bunun sebebi güneş panellerinin verimlerinin sıcaklığa bağlı azalması ve dolayısıyla kayıplarda yaşanan artıştır. Yıllık SPO değeri, 12 aylık zaman diliminde toplam üretilen elektrik enerjisi ile toplam küresel radyasyon değeri karşılaştırılarak elde edildiğinden (her bir ay için SPO hesaplanıp bu değerlerin aritmetik ortalaması alınması yöntemiyle değil), kış aylarındaki yüksek SPO değerleri ve yaz aylarındaki düşük SPO değerleri ağırlık faktörlerine göre bu oranı etkilemektedir. Bu etki, sistemin karakteristik özellikleri, seçilen bileşenlerin teknik ve elektriksel verileri ve bölgenin iklimsel özellikleri gibi değişik parametrelere göre farklılık göstermektedir.

### 3.1.5.1. Üretim ve ışınım verileri

Bu tez kapsamında değerlendirilen sistemin devreye alındığı Temmuz 2013'ten beri kaydedilen elektrik enerjisi üretim ve ışınım değerleri Çizelge 3.4'te verilmektedir. Aynı değerler Şekil 3.8'de grafik olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4:** Sistem kurulumundan itibaren kaydedilen üretim ve ışınım verileri.

Aylar	Üretim [kWh]	Işınım [kWh/m <sup>2</sup> ]
Temmuz 2013	76.036,64	-
Ağustos 2013	81.950,83	-
Eylül 2013	70.941,06	-
Ekim 2013	54.120,45	116,53
Kasım 2013	37.429,10	80,60

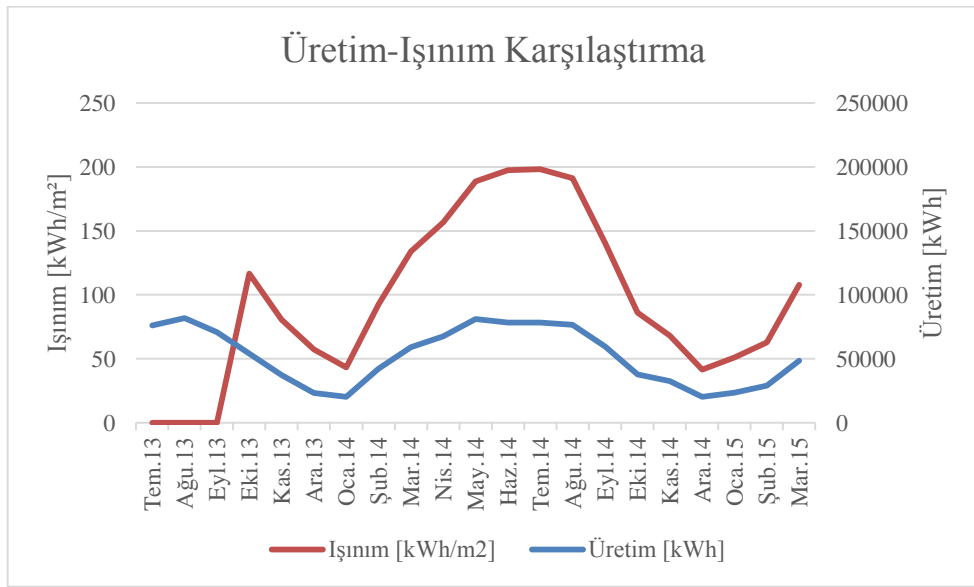
**Çizelge 3.4 (devam):** Sistem kurulumundan itibaren kaydedilen üretim ve ısıtım verileri.

Aylar	Üretim [kWh]	Isınım [kWh/m <sup>2</sup> ]
Aralık 2013	23.418,34	57,27
Ocak 2014	20.395,78	43,37
Şubat 2014	42.361,94	92,60
Mart 2014	59.209,05	133,82
Nisan 2014	67.706,64	156,56
Mayıs 2014	81.094,62	188,72
Haziran 2014	78.298,79	197,30
Temmuz 2014	78.381,95	198,21
Ağustos 2014	76.540,36	191,18
Eylül 2014	59.492,72	140,46
Ekim 2014	37.840,13	86,23
Kasım 2014	32.551,31	68,21
Aralık 2014	20.256,14	41,63
2014 TOPLAM (Ocak 2014 – Aralık 2014)	654.129,40	1.538,29
Ocak 2015	23.627,92	51,16
Şubat 2015	29.026,670	62,76
Mart 2015	48.524,128	107,79

**Çizelge 3.4 (devam):** Sistem başlangıcından itibaren kaydedilen üretim ve ışı nım verileri.

Aylar	Üretim [kWh]	İşınım [kWh/m <sup>2</sup> ]
GENEL TOPLAM		
Temmuz 2013 – Mart 2015	1.099.204,57	2.014,39

Ölçüm istasyonu ve piranometre sisteme Eylül 2013’te entegre edildiği için, çizelgede Temmuz 2013 ve Eylül 2013 ayları arasındaki ışı nım değ erleri verilmemiştir.



**Şekil 3.8:** Sistem başlangıcından itibaren kaydedilen Üretim& İşınım verileri.

İşınımın yüksek olduğu aylarda, özellikle Mayıs ve Eylül ayları arasındaki dönemde üretim ile ışı nım değ erleri arasındaki farkın büyüdüğü diğ er bir deyiş le Sistem Performans Oranı'nın azaldığı grafikten görülebilmektedir. Güneş panel verimlerinin sıcaklık artışıyla düşmesi, panel-evirici tasarımına bağı lı olarak ışı nımla ters orantılı olarak evirici veriminin yüzdesel bazda azalması gibi nedenlerle Sistem Performans Oranı düşmektedir. Simülasyon programı ile oluşturulan raporda da belirtilen bu azalış, olağ an dış ı bir durum değı ldir. Raporda söz konusu dönemde Sistem Performans Oranı'nın azalacağı öngörölmüştür.

Genel anlamda sistemin mevcut performansı ile raporda öngörölen performans karşılaştırıldığında, gerçek uygulamada raporda öngörölen SPO değ eri olan %82,4'lük orandan yüksek bir Sistem Performans Oranı elde edildiğı görölmektedir. 2014 yılında

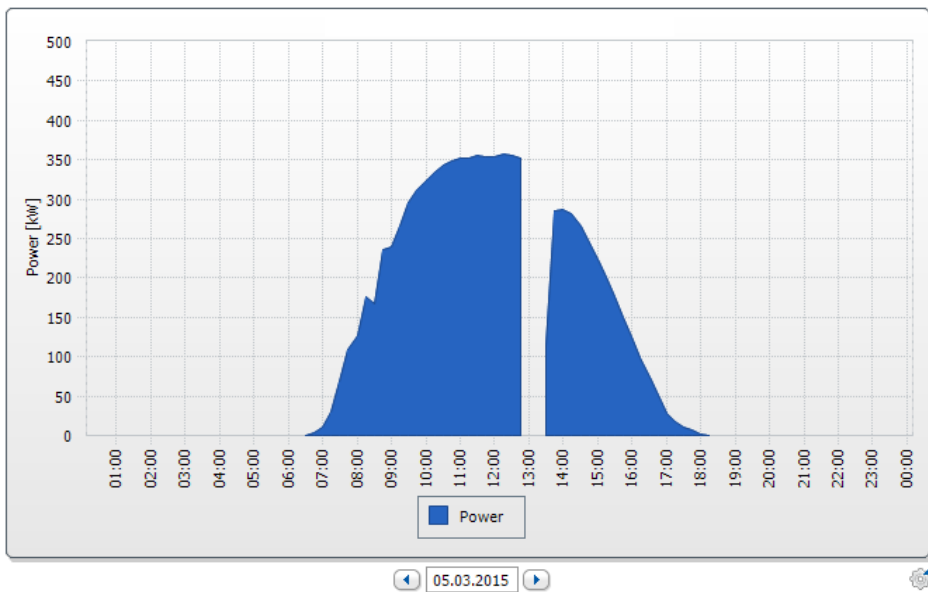
toplam ışı nım değ eri 1.538,29 kWh/m<sup>2</sup> ve toplam üretim değ eri 654.129,40 kWh olarak kaydedilmiştir. Elde edilen bu verilerle uygulamada sistemin 2014 yılı için SPO değ eri:

$$SPO = \frac{Eac \times Istc}{Pnom \times H} \quad (3.13)$$

$$SPO = \frac{654.129,40 \times 1}{495,88 \times 1.538,290} = \%85,75 \quad (3.13a)$$

olarak hesaplanmıştır.

Sistem için aylık bazda derlenen elektrik üretim değ erleri ve ışı nı ma bağ lı SPO değ erleri hesaplanırken, mücbir sebeplerden dolayı elektrik enerjisi üretilemeyen zamanlardaki ışı nım değ erleri SPO hesabından çıkarılmış tır. Şebeke elektriğ i kesildiğ inde fotovoltaik güç sistemlerinin çalı Őmayı durdurması, Őebekede yaş anan uyumsuzluklar ve kötü güç kalitesi gibi sebepler mücbir sebepler kapsamında değ erlendirilmektedir. Örnek olarak ař ađ ıda Şekil 3.9'da, ilgili sistemin 5 Mart 2015 gününe ait elektrik üretim grafiğ i verilmiştir. Grafikten görülebileceğ i üzere saat 12:45 ile 13:30 arasında sistemde elektrik üretimi görünmemektedir. Şebeke elektriğ inde yaş anan problem ya da kesinti durumlarında fotovoltaik güç sistemleri üretimlerini durdurmaktadır. Ancak bu zaman zarfında piranometre çalı Őmakta ve ışı nım verilerini kaydetmeye devam etmektedir. Bu gibi durumlarda, ilgili zaman aralıklarındaki ışı nım değ erleri SPO hesabından çıkarılmaktadır.



Şekil 3.9: Sistemin 5 Mart 2015 gününe ait elektrik üretim grafiğ i.



Buradan; sistem başlangıcından beri kaydedilen ışınım değerlerinin, SPO oranı için kullanılan ışınım değerlerinden aslında daha fazla olduğu sonucu çıkmaktadır. Çizelge 3.4'te verilen ışınım değerleri, sistem üzerine düşen ışınım değerlerinden mücbir zamanlardaki değerler çıkarılarak hesaplanmıştır. Ek olarak sistemde kullanılan pıranometre yataya gelen küresel ışınımı ölçtüğü, SPO oranında kullanılan ışınım değerlerinde ise güneş paneli yüzeyine gelen ışınım kullanılacağı için değerlerde %3,3 oranında bir düzeltme de yapılmıştır. Çizelge 3.5'de %3,3 oranındaki düzeltme ile ve bu düzeltme yapılmadan ışınım değerleri yine aylık olarak ayrı bir tablo olarak verilmektedir.

**Çizelge 3.5:** Işınım değerlerinin +%3,3 oranında düzeltmeli ve düzeltmesiz değerleri.

Aylar	Işınım (+%3,3 Düzeltilme ile) [kWh/m <sup>2</sup> ]	Işınım (+%3,3 Düzeltilme yapılmaksızın) [kWh/m <sup>2</sup> ]
Ekim 2013	116,53	112,80
Kasım 2013	80,60	78,02
Aralık 2013	57,27	55,44
Ocak 2014	43,37	41,98
Şubat 2014	92,59	89,63
Mart 2014	133,83	129,55
Nisan 2014	156,56	151,56
Mayıs 2014	188,72	182,70
Haziran 2014	197,30	191,00
Temmuz 2014	198,21	191,88
Ağustos 2014	191,18	185,07
Eylül 2014	140,46	135,97

**Çizelge 3.5 (devam):** Işınım değerlerinin +%3,3 oranında düzeltmeli ve düzeltmesiz değerleri.

Aylar	Işınım (+%3,3 Düzeltme ile) [kWh/m <sup>2</sup> ]	Işınım (+%3,3 Düzeltme yapılmaksızın) [kWh/m <sup>2</sup> ]
Ekim 2014	86,23	83,47
Kasım 2014	68,21	66,04
Aralık 2014	41,63	40,30
2014 TOPLAM		
Ocak 2014 – Aralık 2014	1.538,29	1.489,15
Ocak 2015	51,16	49,53
Şubat 2015	62,76	60,76
Mart 2015	107,79	104,34
GENEL TOPLAM		
Ekim 2013 – Mart 2015	2.014,39	1.950,04

Panel açısı nedeniyle %3,3'lük düzeltme oranı dikkate alınmadığında, SPO hesabında kullanılan ışınım değerlerinin toplamı Ekim 2013 – Mart 2015 ayları arası 18 aylık dönem içerisinde toplam 2.014,39 kWh/m<sup>2</sup>'den 1.950,04 kWh/m<sup>2</sup>'ye düşmüştür. Simülasyon programının güvenilirliği açısından bir değerlendirme de eldeki veriler ışığında yapılabilir. Sistemin tasarımı aşamasında Temmuz 2013'ten önce yapılan simülasyon çalışmasında Ankara/Kazan bölgesi için küresel ışınım değeri, Şekil 3.7'de de gösterildiği gibi yıllık bazda 1.651 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.5'de de verildiği üzere sistem dahilinde 2014 yılı boyunca +%3,3 düzeltme yapılmadığı durum için kaydedilen toplam ışınım değeri (yataya gelen toplam ışınım değeri) ise toplamda 1.489,148 kWh/m<sup>2</sup>'dir.

Önceki bölümlerde açıklandığı üzere, mücbir zamanlarda kaydedilen ışınım değerleri SPO hesabından çıkarılmaktadır. Çizelge 3.4'te verilen ışınım değerleri aslında bu gibi

zamanlarda kaydedilen ışı nım değerlerinin çıkarılması sonucu elde edilen değerlerdir. Çizelge 3.6'da mücbir zamanlardaki verilerin çıkarılması sonrası elde edilen yataya gelen ışı nım değerleri, mücbir zamanlar da dahil kaydedilen yataya gelen toplam ışı nım değerleri (gerçek ışı nım) ve bu iki değer arasındaki fark yüzdesel bazda verilmektedir.

**Çizelge 3.6:** Sistemde kaydedilen gerçek ışı nım verileri ile yataya gelen ışı nım değerlerinden mücbir zamanlardaki verilerin çıkarılması sonrası elde edilen ışı nım değerlerinin karşı laştırılması.

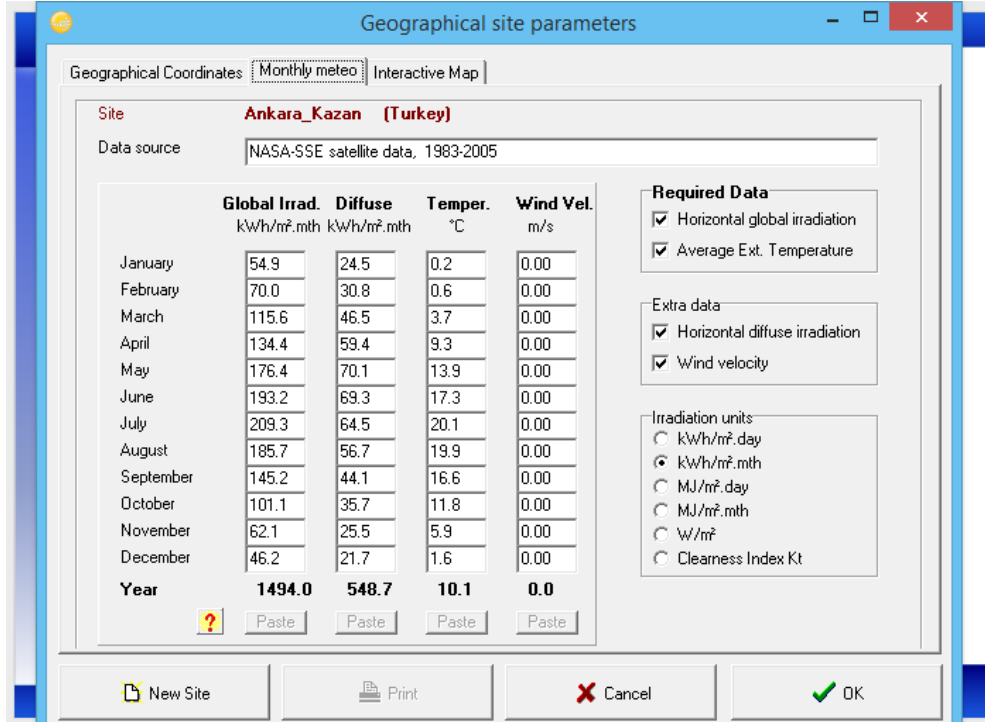
Aylar	Yataya Gelen Işınım (Mücbir zamanlar hariç) [kWh/m <sup>2</sup> ]	Gerçek Işınım [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fark (%)
Ekim 2013	112,80	117,97	-4,38%
Kasım 2013	78,02	78,02	-0,00%
Aralık 2013	55,44	56,26	-1,47%
Ocak 2014	41,98	41,98	-0,00%
şubat 2014	89,63	89,63	-0,00%
Mart 2014	129,55	129,55	-0,00%
Nisan 2014	151,56	164,56	-7,90%
Mayıs 2014	182,70	189,20	-3,44%
Haziran 2014	191,00	205,08	-6,86%
Temmuz 2014	191,88	235,55	-18,54%
Ağustos 2014	185,07	211,43	-12,47%
Eylül 2014	135,97	148,82	-8,63%
Ekim 2014	83,47	109,31	-23,64%
Kasım 2014	66,04	68,54	-3,65%

**Çizelge 3.6 (devam):** Sistemde kaydedilen gerçek ışınım verileri ile yataya gelen ışınım değerlerinden mücbir zamanlardaki verilerin çıkarılması sonrası elde edilen ışınım değerlerinin karşılaştırılması.

Aylar	Yataya Gelen Işınım (Mücbir zamanlar hariç) [kWh/m <sup>2</sup> ]	Gerçek Işınım [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fark (%)
Aralık 2014	40,30	40,30	-0,00%
2014 TOPLAM			
Ocak 2014 – Aralık 2014	1.489,15	1.633,95	-9,72%
Ocak 2015	49,53	53,76	-7,87 %
Şubat 2015	60,76	68,09	-10,77%
Mart 2015	104,34	113,80	-8,31%
GENEL TOPLAM			
Ekim 2013 – Mart 2015	1.950,04	2.121,84	-8,10%

Sadece 2014 yılı için bir değerlendirme yapıldığında; SPO hesabında kullanılan değerler için toplam ışınım değeri 1.489,15 kWh/m<sup>2</sup> iken pıranometre tarafından ölçülen küresel ışınım değeri 1.633,95 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Toplamda iki değer arasında %9,72'lik bir fark ortaya çıkmaktadır.

Yine pıranometre tarafından ölçülen yataya gelen küresel ışınım değeri ve Temmuz 2013'ten önce yapılan simülasyon raporunda belirtilen toplam ışınım değeri burada karşılaştırılabilir. 2014 yılı için pıranometre tarafından ölçülen yataya gelen küresel ışınım değeri 1.633,95 kWh/m<sup>2</sup> iken simülasyon programı bu değeri 1.560,1 kWh/m<sup>2</sup> olarak tahmin etmiştir. İki değer arasında yaklaşık olarak %4,7 oranında bir fark ortaya çıkmıştır. Simülasyon programı çerçevesinde meteorolojik verilerin ve tahminlerin zamanla güncellenmesi ile ilgili bir örnek olarak Mart 2015 zamanlı Ankara/Kazan bölgesi için tahmin edilen küresel ışınım değeri Şekil 3.10'dan görülebildiği üzere 1.494 kWh/m<sup>2</sup>'dir.



**Şekil 3.10:** Mart 2015 zamanlı Ankara/Kazan bölgesi için tahmin edilen yıllık küresel ışınım değeri.

Sonuç olarak günümüz şartlarında simülasyon programında Ankara/Kazan için yıllık küresel ışınım değeri 1.494 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmaktadır. Aynı program bu değeri 2013 Temmuz'dan önce 1.560,7 kWh/m<sup>2</sup> olarak öngörmüştür. Gerçek durumda ise 2014 yılı boyunca ölçülen değer 1.633,95 kWh/m<sup>2</sup> olarak kaydedilmiştir.



#### 4. MEVCUT FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİNİN MALİ ANALİZİ

Bu bölümde, fotovoltaik güç santrali (FGS) ile elde edilen toplam getiri hesaplanacak ve mali analiz yöntemleriyle projenin uygulanabilir olup olmadığı incelenecektir. Fotovoltaik güç sistemi ile elde edilen getiri genel anlamda iki kalemden oluşmaktadır. Bunların ilki; fotovoltaik güç sistemi ile üretilip bina ihtiyacı dahilinde tüketim olarak kullanılan elektrik enerjisi sonucu elde edilen tasarruftur. Diğer kalem ise; bina tüketiminden fazla elektrik enerjisi üretilme durumlarında, yönetmelik kapsamında şebekeye verilerek satışı yapılan elektrik enerjisidir. Bu iki durum veriler ile birlikte ortaya konulacak ve mali analizler bu veriler dikkate alınarak incelenecektir.

##### 4.1 Bina Elektrik Enerjisi Tüketimi ve Elektrik Giderleri

Bu tez kapsamında incelenen Prokon-Ekon Şirketler Grubu'na ait 2005 Temmuz'da kurulumu tamamlanmış Ankara'daki imalat fabrikasının yıllık elektrik enerjisi tüketim değerleri (FGS + şebeke), tüm vergiler dahil elektrik enerjisi giderleri ve birim kWh başına elektrik enerjisi giderleri aşağıda Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1:** İlgili binanın yıllık şebeke elektrik enerjisi tüketim değerleri ve giderleri.

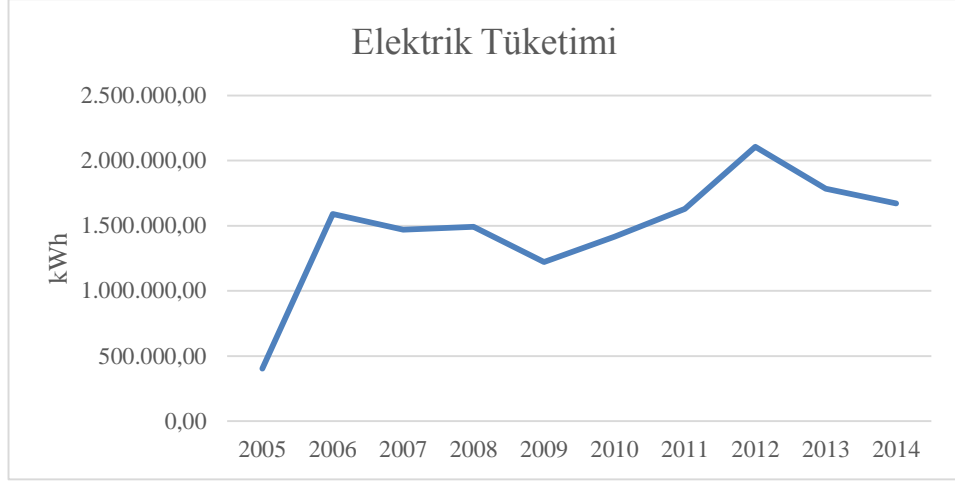
Yıllar	Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	Elektrik Enerjisi Giderleri (TL)	Birim kWh başına Elektrik Enerjisi Giderleri (TL/kWh)
2005	404.376,00	80.010,00	0,1979
2006	1.588.870,00	284.076,00	0,1788
2007	1.470.412,00	212.896,00	0,1448
2008	1.490.702,00	274.194,00	0,1839
2009	1.221.442,00	266.541,00	0,2182
2010	1.415.902,00	330.908,00	0,2337

**Çizelge 4.1 (devam):** İlgili binanın yıllık şebeke elektrik enerjisi tüketim değerleri ve giderleri.

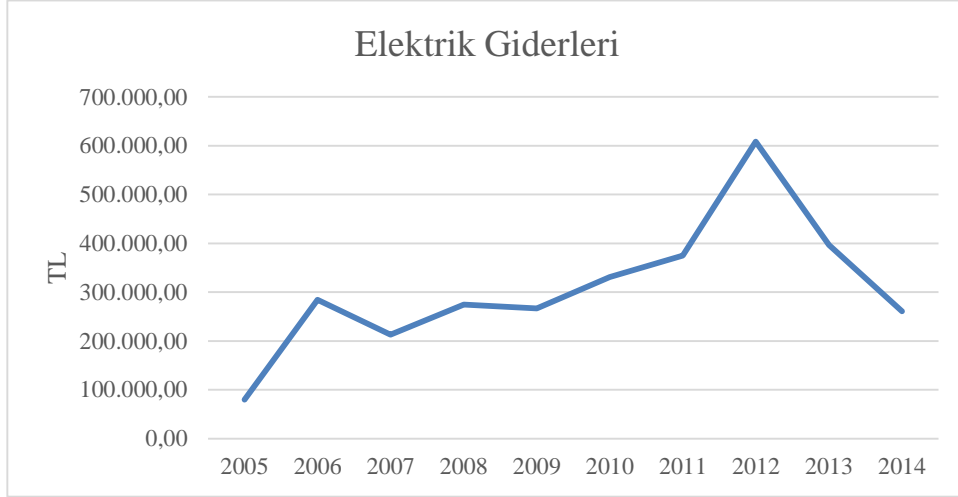
2011	1.628.241,00	374.693,00	0,2301
2012	2.105.002,00	608.451,00	0,2891
2013	1.783.691,00	396.215,00	0,2221
2014	1.670.230,58	260.796,49	0,1561

Çizelge 4.1’de verilen binanın yıllara göre elektrik enerjisi tüketim, toplam ve birim tüketim başına elektrik enerjisi giderlerine ait grafikler aşağıda Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de sırasıyla verilmiştir. Çizelge 4.1 ve ilgili şekillerden anlaşılacağı üzere, binanın elektrik tüketim eğilimi 2005 yılından itibaren genel bir artış eğilimi içerisinde. Aynı şekilde 2005-2014 yılları arası toplam elektrik enerjisi giderleri de artış göstermiştir. Bu sebeplerden dolayı fotovoltaik güç santralının kurulması fikri gündeme gelmiş ve projeye başlanmıştır. 2013 Mayıs sonrası devreye giren fotovoltaik güç santralının etkisi Çizelge 4.1 ve ilgili şekillerden anlaşılabilir. 2013 ve 2014 yıllarına ait değerlere bakıldığında; toplam elektrik giderlerindeki azalmanın toplam elektrik tüketimindeki azalmaya nazaran çok daha fazla olduğu görülebilmektedir. 2013 ve 2014 yılları arasında toplam elektrik tüketimindeki azalma 113.460,42 kWh iken, toplam elektrik enerjisi giderlerindeki azalma ise 135.418,51 TL olmuştur. Bunun sonucu olarak kWh başına elektrik enerjisi gideri 2013 yılında 0,2221 TL/kWh iken 2014 yılında 0,1561 TL/kWh’e düşmüştür. Bunun nedeni bina elektrik tüketiminde FGS kaynaklı elektrik enerjisinin de kullanılmaya başlanmış olup, şebeke elektriği kullanımındaki azalma ve dolayısıyla elektrik faturalarındaki düşüştür. Tesiste son iki yıldır gerçekleştirilen enerji verimliliği çalışmalarının sonucu da, toplam elektrik enerji tüketiminde azalmalar izlenmektedir.

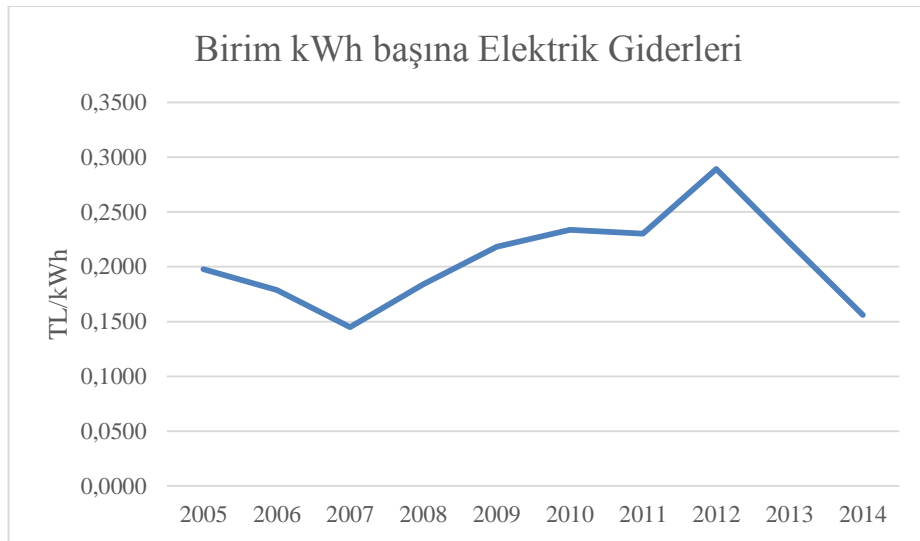




**Şekil 4.1:** İlgili binanın yıllara göre değişen elektrik enerjisi tüketim değerleri.



**Şekil 4.2:** İlgili binanın yıllara göre değişen elektrik enerjisi giderleri.



**Şekil 4.3:** İlgili binanın yıllara göre değişen birim tüketim başına elektrik enerjisi giderleri.

#### 4.2 Toplam Tüketimde FGS Payı

Çizelge 4.2’de Temmuz 2013 sonrası binaya ait şebeke elektrik enerjisi tüketim değerleri, fotovoltaik güç sistemi (FGS) elektrik üretim değerleri ve toplam tüketim içerisinde şebekeden gelen elektrik ile FGS’den üretilen elektriğin pay oranları aylık bazda verilmiştir.

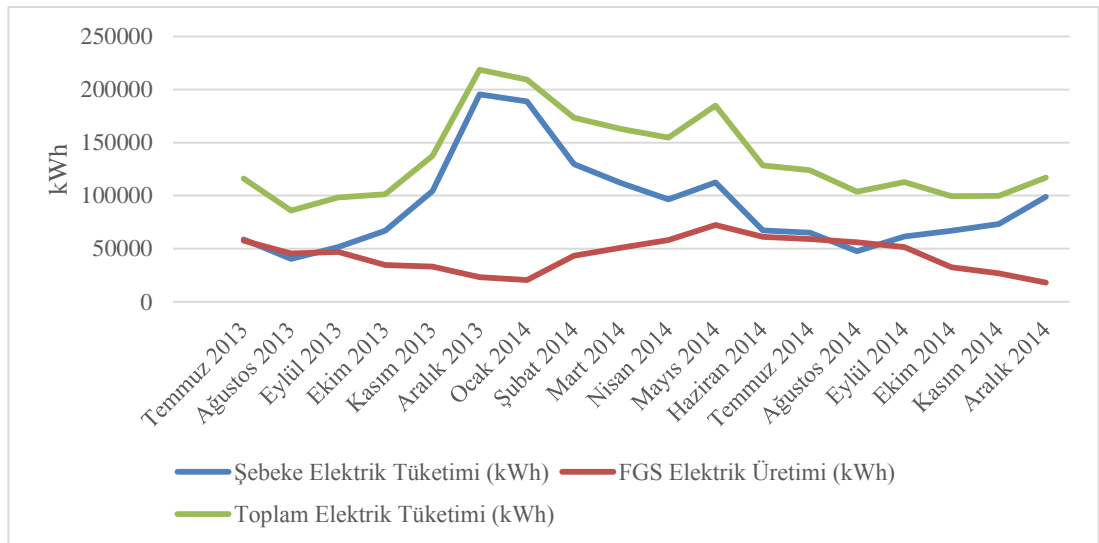
**Çizelge 4.2:** Sistemin TEDAŞ tarafından onaylanmasından sonra (Temmuz 2013), binaya ait şebeke elektrik tüketimi, FGS elektrik üretimi, toplam elektrik tüketimi ile toplam tüketim içinde FGS ve şebeke elektrik enerjisinin payları.

Aylar	Şebeke Elektrik Tüketimi (kWh)	FGS Elektrik Üretimi (kWh)	Toplam Elektrik Tüketimi (kWh)	Toplam tüketim içinde	
				FGS Payı	Şebeke Elektrik payı
Temmuz 2013	58.691,40	57.548,09	116.239,49	%49,51	%50,49
Ağustos 2013	40.385,70	45.482,20	85.867,90	%52,97	%47,03
Eylül 2013	51.442,95	46.977,25	98.420,20	%47,73	%52,27
Ekim 2013	66.809,25	34.487,00	101.296,25	%34,05	%65,95
Kasım 2013	104.352,15	33.246,45	137.598,60	%24,16	%75,84
Aralık 2013	195.394,20	23.136,55	218.530,75	%10,59	%89,41
Ocak 2014	188.901,30	20.545,63	209.446,93	%9,81	%90,19
Şubat 2014	129.813,15	43.504,65	173.317,80	%25,10	%74,90
Mart 2014	111.804,15	50.947,80	162.751,95	%31,30	%68,70
Nisan 2014	96.386,10	58.222,86	154.608,96	%37,66	%62,34
Mayıs 2014	112.401,00	72.479,27	184.880,27	%39,20	%60,80

**Çizelge 4.2 (devam):** Sistemin TEDAŞ tarafından onaylanmasından sonra (Temmuz 2013), binaya ait şebeke elektrik tüketimi, FGS elektrik üretimi, toplam elektrik tüketimi ile toplam tüketim içinde FGS ve şebeke elektrik enerjisinin payları.

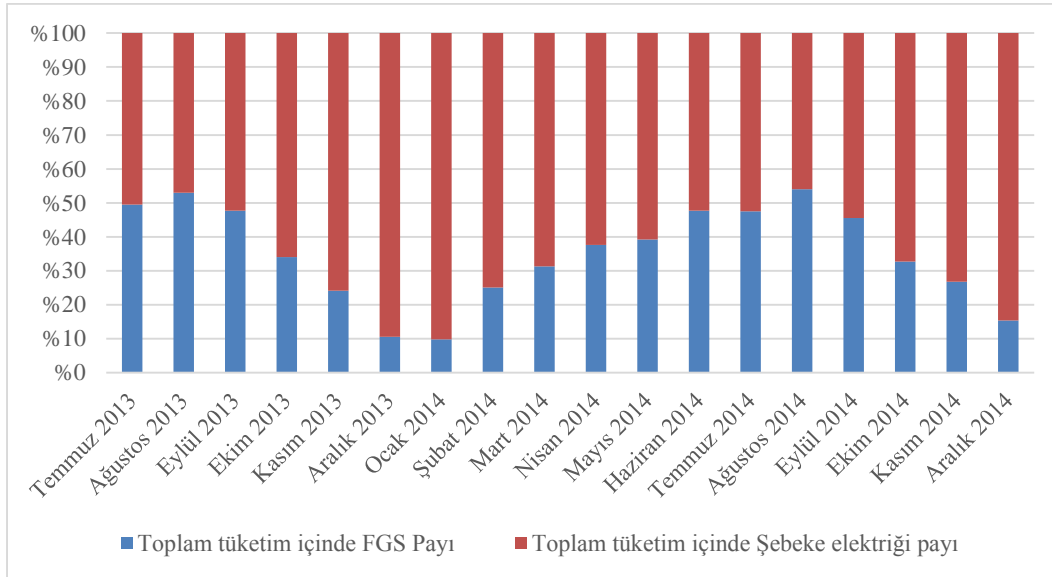
Aylar	Şebeke	FGS	Toplam	Toplam tüketim içinde	
	Elektrik Tüketimi (kWh)	Elektrik Üretimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)	FGS Payı	Şebeke Elektriği Payı
Haziran 2014	67.099,05	61.332,35	128.431,40	%47,75	%52,25
Temmuz 2014	64.994,55	58.960,99	123.955,54	%47,57	%52,43
Ağustos 2014	47.685,90	55.945,50	103.631,40	%53,99	%46,01
Eylül 2014	61.475,55	51.422,46	112.898,01	%45,55	%54,45
Ekim 2014	66.898,95	32.609,06	99.508,01	%32,77	%67,23
Kasım 2014	73.108,95	26.725,95	99.834,90	%26,77	%73,23
Aralık 2014	98.963,25	18.002,16	116.965,41	%15,39	%84,61

Sistemin TEDAŞ tarafından onaylandığı Temmuz 2013'ten beri kaydedilen toplam elektrik enerjisi tüketimi, şebeke kaynaklı elektrik tüketimi ve FGS üretim değerlerini gösteren grafikler ise Şekil 4.4'de toplu olarak verilmiştir.



**Şekil 4.4:** 2013 Temmuz sonrası binaya ait şebeke kaynaklı elektrik tüketim, FGS elektrik üretim ve toplam tüketim değerleri.

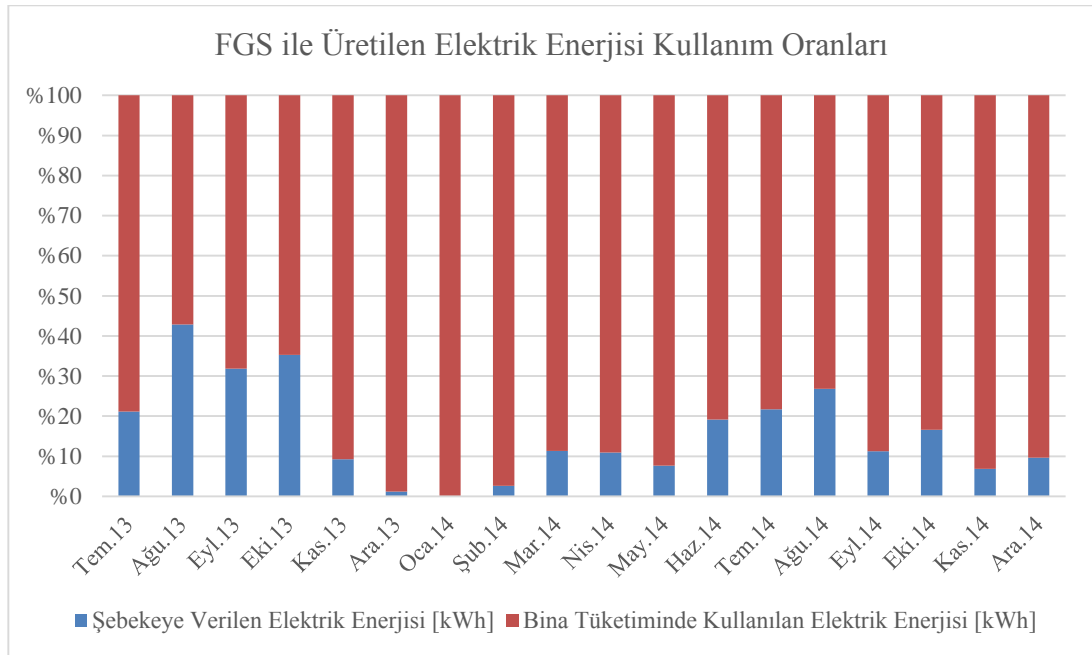
Grafikten görülebildiği gibi toplam elektrik enerjisi tüketimi, Fotovoltaik Güç Sistemi'nin elektrik üretiminde azalma eğilimine girdiği kış aylarında artış göstermektedir. Kış aylarında FGS elektrik üretimi azaldığı için şebeke kaynaklı elektrik tüketiminde artış görülürken, FGS elektrik üretiminin artış gösterdiği yaz aylarında ise şebeke kaynaklı tüketim azalmaktadır. Ağustos 2013 ve Ağustos 2014 aylarından görülebildiği üzere; toplam tüketim içerisinde FGS kaynaklı üretimden gelen elektriğin payı şebeke kaynaklı elektrik enerjisinden, az da olsa fazladır. Ağustos 2013 ve Ağustos 2014 aylarında bina, toplam elektrik enerjisi ihtiyacının yarısından fazlasını FGS'den üretilen elektrik enerjisinden karşılayabilmiştir. Toplam elektrik enerjisi tüketimi içerisinde FGS kaynaklı elektrik enerjisi üretimi ve şebeke kaynaklı elektrik enerjisi tüketim paylarını aylık olarak gösteren grafik Şekil 4.5'de sütun şeklinde verilmiştir.



**Şekil 4.5:** 2013 Temmuz sonrası toplam elektrik enerjisi tüketiminde FGS ve şebeke elektrik enerjisi pay oranları.

Aylık toplam elektrik enerjisi tüketimi, fotovoltaik güç sistemi ile elde edilen elektrik enerjisi üretimi ve şebeke elektrik enerjisi tüketim miktarları ile çizilmiş Şekil 4.4'e tekrar bakıldığında, fotovoltaik güç sistemi kaynaklı üretilen elektrik enerjisinin toplam elektrik tüketiminden hiçbir zaman daha fazla olamadığı ve bu doğrultuda şebekeye elektrik enerjisi satışının mümkün olmadığı gibi bir yorum yapılabilmektedir. Ancak gerçek uygulamada sistem, şebekeye elektrik enerjisi satabilmiştir. Şekil 4.4'deki değerler aylık olduğu için, düşük değer ve oranlı satışlar net olarak görülememektedir. Satış yapılabilen durumlar, binada üretim ve çalışma

olmadığı saatlerde, FGS kaynaklı üretilen elektrik enerjisi miktarının bina elektrik enerjisi tüketiminden fazla olduğu zamanlarda gerçekleşmiştir. Örnek olarak resmi tatillerde, haftasonlarında ya da bina kapsamında fabrikanın çalışmadığı diğer zamanlarda fotovoltaik güç sistemi kaynaklı üretilen elektrik enerjisi yönetmelik çerçevesinde şebekeye verilerek elektrik enerjisi satışı yapılabilmektedir. Ya da fotovoltaik güç sistemi kaynaklı üretilen anlık elektrik enerjisinin pik yaptığı zamanlarda, –genellikle saat 11.00 ila 14.00 zaman aralığında- bina elektrik enerjisi tüketimi, FGS kaynaklı elektrik enerjisi üretiminden daha düşük olduğunda, tüketimden artı kalan elektrik enerjisi yönetmelik çerçevesinde yine şebekeye verilerek elektrik enerjisi satışı yapılabilmektedir. Şekil 4.6’da FGS ile üretilen elektrik enerjisi kullanımı %100 kabul edilerek, bina tüketiminde kullanılan ve şebekeye verilen elektrik enerjisi miktarlarının yüzdeleri gösterilmektedir. Çizelge 4.3’te ve Şekil 4.7’de de Temmuz 2013’ten 2014 yılı sonuna kadar aylık bazda şebekeye verilen elektrik enerjisi miktarı ve elde edilen gelir görülmektedir.



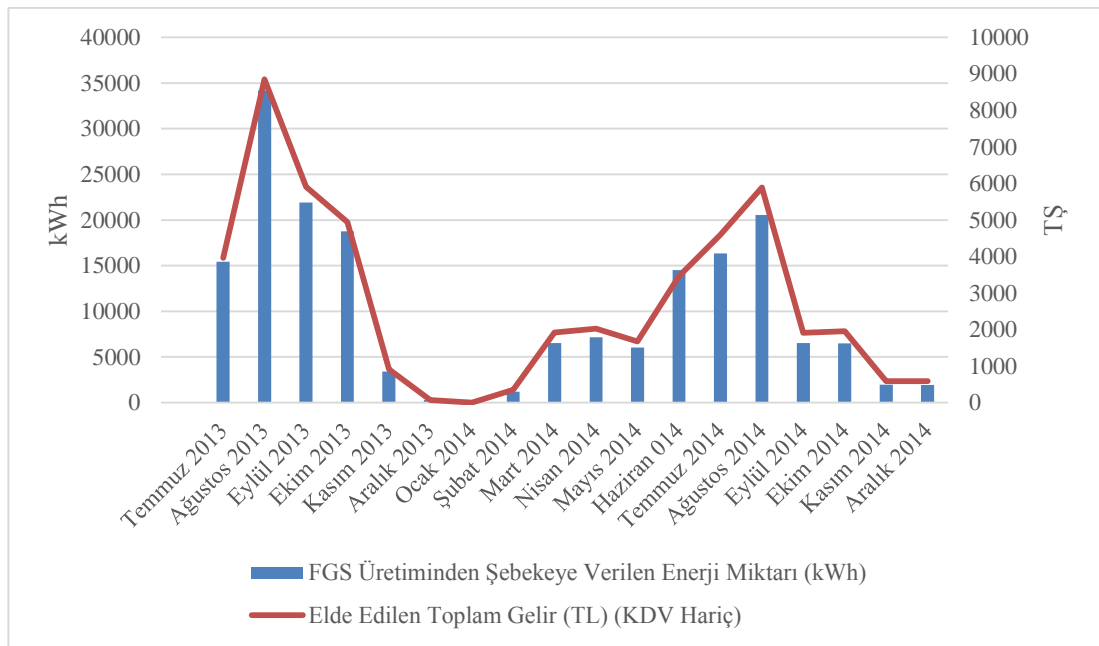
**Şekil 4.6:** FGS ile Üretilen Elektrik Enerjisi Kullanım Oranları.

**Çizelge 4.3:** Sistemin TEDAŞ tarafından onayının yapılması sonrası (Temmuz 2013), aylık bazda şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisi değerleri ve elde edilen gelir tutarları.

Aylar	FGS Üretiminden Şebekeye Verilen Enerji Miktarı (kWh)	Elde Edilen Toplam Gelir (TL) (KDV Hariç)
Temmuz 2013	15.438,75	3.964,78
Ağustos 2013	34.168,80	8.847,68
Eylül 2013	21.924,75	5.905,74
Ekim 2013	18.771,45	4.942,93
Kasım 2013	3.398,25	914,69
Aralık 2013	279,05	75,13
Ocak 2014	-	-
Şubat 2014	1.186,80	347,69
Mart 2014	6.523,95	1.919,30
Nisan 2014	7.158,75	2.025,59
Mayıs 2014	6.047,85	1.676,27
Haziran 2014	14.503,80	3.460,28
Temmuz 2014	16.346,10	4.590,75
Ağustos 2014	20.537,85	5.893,17
Eylül 2014	6.537,75	1.914,68
Ekim 2014	6.503,25	1.955,48
Kasım 2014	1.976,85	588,68

**Çizelge 4.3 (devam):** Sistemin TEDAŞ tarafından onayının yapılması sonrası (Temmuz 2013), aylık bazda şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisi değerleri ve elde edilen gelir tutarları.

Aylar	FGS Üretiminden Şebekeye Verilen Enerji Miktarı (kWh)	Elde Edilen Toplam Gelir (TL) (KDV Hariç)
Aralık 2014	1.918,20	586,90
<b>TOPLAM</b>	<b>183.222,20</b>	<b>49.609,74</b>



**Şekil 4.7:** 2013 Temmuz sonrası şebekeye verilen elektrik enerjisi miktar ve elde edilen gelir tutarları.

#### 4.3 FGS ile Üretilen Elektrik Enerjisi Satış Gelirleri

Yukarıda da belirtildiği gibi, bina elektrik enerjisi tüketimi içerisinde FGS kaynaklı elektrik enerjisi üretim payı ve değerlerinin ötesinde, bina elektrik ihtiyacının sistemde üretilen elektrik enerjisinden az olduğu durumlarda, *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* çerçevesinde şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisi de söz konusudur. Tesis edilen çift yönlü sayaç sayesinde üretimin tüketimden fazla olduğu durumlar için şebekeye verilen elektrik enerjisinin değerleri kaydedilerek, yönetmelik çerçevesinde belirlenen 0,133 ABD\$/kWh birim fiyat üzerinden satış yapılmıştır.

Yukarıda verilen Çizelge 4.3, santralin onaylandığı tarih olan Temmuz 2013'ten beri ilgili şartlarda şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisi değerlerini ve elde edilen gelir tutarlarını göstermektedir.

Sistemin onaylandığı Temmuz 2013'den değerlendirmelerin yapıldığı Aralık 2014 tarihine kadar geçen 18 aylık dönemde toplamda 183.222,20 kWh tüketim fazlası elektrik enerjisi şebekeye verilmiş ve bunun sonucu olarak da KDV hariç 49.609,74 TL gelir elde edilmiştir. Tüm bu süreç boyunca şebekeye verilen elektrik enerjisi miktarları ve bunun sonucu olarak elde edilen gelir tutarları yukarıda Şekil 4.7'de grafik olarak da gösterilmiştir.

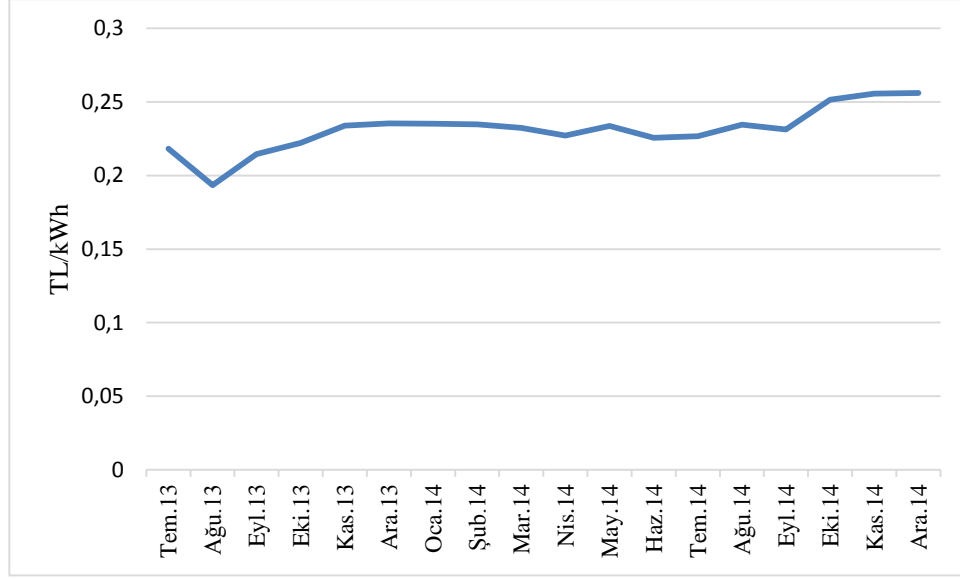
#### **4.4 FGS ile Elde Edilen Toplam Getiri**

Kurulumu yapılan FGS dahilinde iki kalemde getiri sağlanmıştır. Bunlar Bölüm 4.2 ve Bölüm 4.3'de açıklanan, FGS ile üretilen elektriğin binanın elektrik ihtiyacı için kullanılması ve *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* kapsamında şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisi ile elde edilen gelirdir.

FGS ile üretilip binanın elektrik enerjisi ihtiyacı için kullanılan elektriğin toplam getirisini hesaplayabilmek için aylık bazda binanın ortalama elektrik alış birim fiyatlarının bilinmesi gerekmektedir. Herhangi bir aya ait ortalama elektrik alış birim fiyatı ile o ay sürecinde FGS'den üretilen elektrik enerjisi miktarı çarpılarak, söz konusu ay için FGS ile sağlanan getiri hesaplanacaktır.

Şekil 4.8'de Temmuz 2013 ve sonrasında ait aylık ortalama elektrik alış birim fiyatları grafik olarak verilmiştir.





**Şekil 4.8:** 2013 Temmuz sonrası aylık ortalama elektrik alış birim fiyatları (TL/kWh) (KDV Hariç).

Şekil 4.8’den de görülebileceği üzere bina için aylık ortalama elektrik alış fiyatları genel anlamda 0,20-0,25 TL/kWh bandında seyretmektedir. Başlangıçtan itibaren değerlendirildiğinde ise Temmuz 2013 ve Aralık 2014 arasında aylık ortalama elektrik enerjisi alış birim fiyatlarının artış eğiliminde olduğu görülebilmektedir.

Her ay için ortalama elektrik enerjisi alış birim fiyatı, FGS ile üretilip binanın elektrik enerjisi ihtiyacı için kullanılan elektrik enerjisi miktarı ve bu iki değerın çarpılması ile elde edilen FGS kaynaklı getiri –tasarruf değerleri- Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4:** Temmuz 2013 sonrası, aylık bazda ortalama elektrik enerjisi alış birim fiyatı, binanın elektrik ihtiyacı dahilinde kullanılan FGS elektrik üretimi ve FGS kaynaklı getiri.

Aylar	Ortalama Elektrik Enerjisi Alış Birim Fiyatı (TL/kWh) (KDV Hariç)	Bina Elektrik İhtiyacı için Kullanılan FGS Elektrik Üretimi (kWh)	Tasarruf Getirisi (TL)
Temmuz 2013	0,2182	57.548,09	12.556,99
Ağustos 2013	0,1934	45.482,20	8.796,26

**Çizelge 4.4 (devam):** Temmuz 2013 sonrası, aylık bazda ortalama elektrik enerjisi alış birim fiyatı, binanın elektrik ihtiyacı dahilinde kullanılan FGS elektrik üretimi ve FGS kaynaklı getiri.

Aylar	Ortalama Elektrik Enerjisi Alış Birim Fiyatı (TL/kWh) (KDV Hariç)	Bina Elektrik İhtiyacı için Kullanılan FGS Elektrik Üretimi (kWh)	Tasarruf Getirisi (TL)
Eylül 2013	0,2146	46.977,25	10.081,32
Ekim 2013	0,2221	34.487,00	7.659,56
Kasım 2013	0,2340	33.246,45	7.779,67
Aralık 2013	0,2354	23.136,55	5.446,34
Ocak 2014	0,2353	20.545,63	4.834,39
Şubat 2014	0,2349	43.504,65	10.219,24
Mart 2014	0,2325	50.947,80	11.845,36
Nisan 2014	0,2271	58.222,86	13.222,41
Mayıs 2014	0,2337	72.479,27	16.938,41
Haziran 2014	0,2256	61.332,35	13.836,58
Temmuz 2014	0,2267	58.960,99	13.366,46
Ağustos 2014	0,2346	55.945,50	13.124,81
Eylül 2014	0,2313	51.422,46	11.894,01
Ekim 2014	0,2516	32.609,06	8.204,44
Kasım 2014	0,2558	26.725,95	6.836,50
Aralık 2014	0,2562	18.002,16	4.612,15
<b>TOPLAM</b>		<b>791.576,20</b>	<b>181.254,91</b>

Toplamda 18 aylık süreçte 791.576,20 kWh elektrik enerjisi bina ihtiyacı için kullanılmış ve 181.254,91 TL tasarruf sağlanmıştır.

Yönetmelik çerçevesinde şebekeye satışı yapılan elektrikten elde edilen gelir ve elde edilen tasarruf miktarlarının toplanmasıyla, FGS kaynaklı elde edilen getiri hesaplanmış olacaktır.

Çizelge 4.5’de Temmuz 2013 ve sonrası için şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisinden elde edilen gelir ve bina elektrik ihtiyacı dahilinde kullanılan elektrik ile sağlanan tasarruf miktarları ile bu iki değer toplanarak elde edilen toplam FGS getirisi verilmiştir.

**Çizelge 4.5:** FGS ile sağlanan toplam getiri.

Aylar	Şebekeye Satış ile Elde Edilen Gelir (TL)	Tasarruf Getirisi (TL)	Toplam Getiri (TL)
Temmuz 2013	3.964,78	12.556,99	16.521,77
Ağustos 2013	8.847,68	8.796,26	17.643,94
Eylül 2013	5.905,74	10.081,32	15.987,06
Ekim 2013	4.942,93	7.659,56	12.602,49
Kasım 2013	914,69	7.779,67	8.694,36
Aralık 2013	75,13	5.446,34	5.521,47
Ocak 2014	-	4.834,39	4.834,39
Şubat 2014	347,69	10.219,24	10.566,93
Mart 2014	1.919,30	11.845,36	13.764,66
Nisan 2014	2.025,59	13.222,41	15.248,00
Mayıs 2014	1.676,27	16.938,41	18.614,68

**Çizelge 4.5 (devam):** FGS ile sağlanan toplam getiri.

Aylar	Şebekeye Satış ile Elde Edilen Gelir (TL)	Tasarruf Getirisi (TL)	Toplam Getiri (TL)
Haziran 2014	3.460,28	13.836,58	17.296,86
Temmuz 2014	4.590,75	13.366,46	17.957,21
Ağustos 2014	5.893,17	13.124,81	19.017,98
Eylül 2014	1.914,68	11.894,01	13.808,69
Ekim 2014	1.955,48	8.204,44	10.159,92
Kasım 2014	588,68	6.836,50	7.425,18
Aralık 2014	586,90	4.612,15	5.199,05
TOPLAM	49.609,74	181.254,90	230.864,64

Sonuç olarak sistemin devreye alındığı Temmuz 2013'ten 2015 yılı başına kadar geçen 18 aylık süre içerisinde toplamda 230.864,64 TL'lik bir getiri elde edilmiştir. Temmuz 2013-Haziran 2014 arasındaki zaman diliminde, yani sistemin devreye alındıktan sonraki ilk yıl içerisindeki toplam getiri ise 157.296,61 TL'dir. Sistemin ikinci yıl ilk yarısındaki getirisi de 73.568,03 TL olarak kaydedilmiştir. İlk ve ikinci yıla ait ilk 6 aylık toplam getiri verileri karşılaştırıldığında, ilk yılın ilk 6 aylık zaman dilimindeki toplam getirisinin 3.403,06 TL daha fazla olduğu görülmüştür. İkinci yılın ilk 6 ayındaki toplam getirinin, ilk yıl ilk 6 aylık toplam getiriye oranı %95,88 olarak hesaplanmıştır. Bölüm 4.5'de sistemin başlangıç maliyeti ve bu süreçteki toplam getiri verileri kullanılarak mali analizler yapılacaktır.

#### **4.5 Mali Analiz**

Bu bölümde tez kapsamında incelenen mevcut fotovoltaik güç sisteminin *Şimdiki Değer (PW)*, *Gelecekteki Değer (FW)*, *Yıllık Değer (AW)*, *Fayda/Maliyet Oranı (BCR)* ve *Geri Dönüşüm Oranı (IRR)* yöntemleriyle mali analizi yapılacaktır.

İnceleme kapsamında sistemin toplam ömrü, sistem dahilinde kullanılan güneş panellerinin sahip olduğu lineer performans garantisi çerçevesinde 25 yıl olarak kabul edilmiştir. Sistemin ilk yatırım maliyeti 602.495,00 €'dur. Analizde %8 değerinde Minimum Geri Dönüşüm Oranı (MARR) kullanılacaktır. Eldeki veriler aşağıda Çizelge 4.6'da verilmiştir.

**Çizelge 4.6:** Mali analizlerde kullanılacak veriler.

İlk Yatırım Maliyeti	602.495,00 €
İlk Yıl Toplam Getiri	157.296,61 TL
İşletme Ömrü	25 yıl
Minimum Geri Dönüşüm Oranı (MARR)	%8

İlk yıl sonrası yıllık toplam getiri rakamlarının sistem işletme ömrü boyunca, güneş paneli lineer performans garantisi kapsamında yıllık düşüşlerle doğru orantılı olarak azalacağı varsayılmıştır. Sistem dahilinde kullanılan güneş panelinin veri kağıdında belirtilen lineer performans garantisi olarak ilk yıl için %2,5, sonraki yıllar için ise %0,7 oranında sabit bir verim düşümü öngörülmektedir. Bu verim düşümleri esas alınarak hesaplanmış, yıllara bağlı öngörülen yıllık toplam getiri değerleri aşağıda Çizelge 4.7'de verilmiştir. Mali analizler kapsamındaki sistemin yıllık getiri değerleri de bu değerler doğrultusunda uyarlanacaktır.

**Çizelge 4.7:** Öngörülen FGS Yıllık Toplam Getiri Değerleri.

Yıllar	İlk Yıl için Kaydedilen Toplam Getiri (TL)	İlgili Yıl için Toplam Verim Düşümü	Öngörülen Yıllık Toplam Getiri (TL)
1	157.296,61	-	-
2	157.296,61	-%2,5	153.364,28

**Çizelge 4.7 (devam):** Öngörülen FGS Yıllık Toplam Getiri Değerleri.

Yıllar	İlk Yıl için Kaydedilen Toplam Getiri (TL)	İlgili Yıl için Toplam Verim Düşümü	Öngörülen Yıllık Toplam Getiri (TL)
3	157.296,61	-%3,2	152.263,21
4	157.296,61	-%3,9	151.162,13
5	157.296,61	-%4,6	150.061,05
6	157.296,61	-%5,3	148.959,97
7	157.296,61	-%6	147.858,90
8	157.296,61	-%6,7	146.757,82
9	157.296,61	-%7,4	145.656,74
10	157.296,61	-%8,1	144.555,67
11	157.296,61	-%8,8	143.454,59
12	157.296,61	-%9,5	142.353,51
13	157.296,61	-%10,2	141.252,44
14	157.296,61	-%10,9	140.151,36
15	157.296,61	-%11,6	139.050,28
16	157.296,61	-%12,3	137.949,21
17	157.296,61	-%13	136.848,13

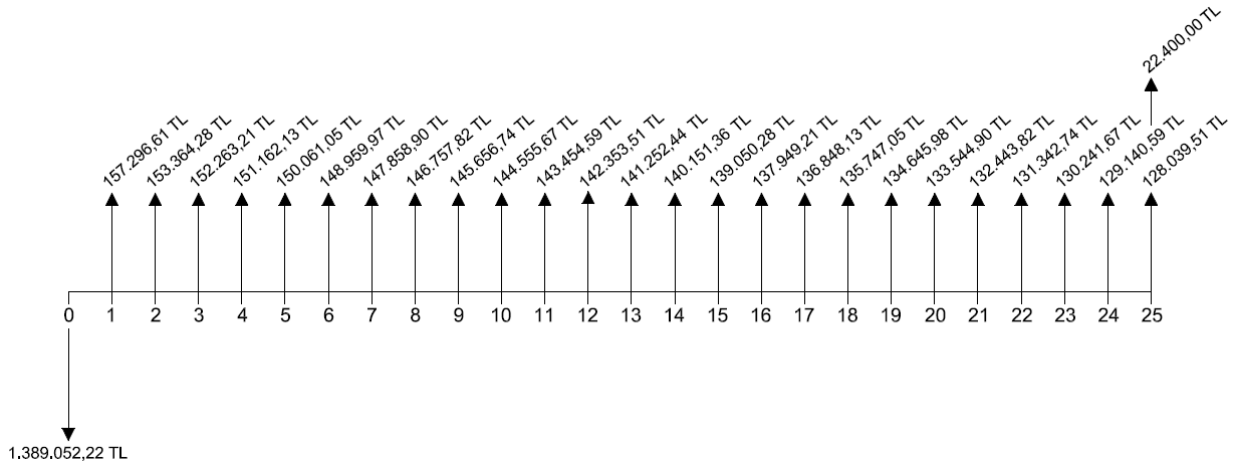
**Çizelge 4.7 (devam): Öngörülen FGS Yıllık Toplam Getiri Değerleri.**

Yıllar	İlk Yıl için Kaydedilen Toplam Getiri (TL)	İlgili Yıl için Toplam Verim Düşümü	Öngörülen Yıllık Toplam Getiri (TL)
18	157.296,61	-% 13,7	135.747,05
19	157.296,61	-% 14,4	134.645,98
20	157.296,61	-% 15,1	133.544,90
21	157.296,61	-% 15,8	132.443,82
22	157.296,61	-% 16,5	131.342,74
23	157.296,61	-% 17,2	130.241,67
24	157.296,61	-% 17,9	129.140,59
25	157.296,61	-% 18,6	128.039,51
		TOPLAM	3.661.080,69

Lineer performans garantisi kapsamında belirtilen yıllık verim düşümleri, ilk yıl için kaydedilen toplam FGS getirisi başlangıç kabul edilerek 25 yıl boyunca uygulandığında, 25 yıl sonunda elde edilecek toplam getiri 3.661.080,69 TL olarak hesaplanmıştır.

Proje ile ilgili hazırlanmış nakit akış diyagramı aşağıda Şekil 4.9’da, gösterilmiştir. Nakit akış diyagramı içersinde para birimlerinin eşdeğer olması için başlangıç yatırım maliyeti € para biriminden TL’ye dönüştürülmüştür. Dönüşüm işlemi dahilinde €/TL kur değeri 2 Mayıs 2013 tarihinde kaydedilen veriler doğrultusunda 2,3055 olarak alınmıştır (T.C.M.B., 2015). Mayıs 2013’te sistem kurulumu tamamlanmış olduğu için, kur hesabında 2 Mayıs 2013 tarihi seçilmiştir. 1 Mayıs resmi tatil olduğu için, o

günkü resmi kur değerlerine T.C. Merkez Bankası dahilinde ulaşılamamaktadır. Bu yüzden kur hesabında 2 Mayıs 2012 tarihi kullanılmıştır.



**Şekil 4.9:** Mevcut Fotovoltaik Güç Sistemi Nakit Akış Diyagramı.

Nakit Akış Diyagramı içerisinde gider ve harcama kalemleri aşağı ok yönünde, gelir kalemleri ise yukarı ok yönünde gösterilmektedir. Yukarıda da söz edildiği gibi sistem ömrü 25 yıl olarak varsayılmıştır. Proje kapsamında yaklaşık 7 ton alüminyum/çelik taşıyıcı yapı kullanıldığından 25. yıl sonunda sistemin tasfiye (hurda) bedelinin yaklaşık olarak 22.400,00 TL olacağı öngörülmüştür.

Bu veriler doğrultusunda sistemin mali analizi *Şimdiki Değer (PW)*, *Gelecekteki Değer (FW)*, *Yıllık Değer (AW)*, *Fayda/Maliyet Oranı (BCR)* ve *Geri Dönüşüm Oranı (IRR)* yöntemleriyle gerçekleştirilecektir.

Mali analizler kapsamında kullanılacak kısaltmalar aşağıdaki gibidir:

- $i$  : Yıllık faiz oranı
- $n$  : Yıl sayısı (işletme yılı)
- $P$  : Mevcut durumdaki değer
- $A$  :  $n$  yıl boyunca yıllık ödeme sürecindeki tek bir ödeme
- $F$  : Gelecekteki değer

Mali analizler kapsamında mevcut, gelecek ve yıllık değerlerin birbirlerine nasıl dönüştürüldüğünü gösteren formüller aşağıda verilmiştir.

Belli bir mevcut değer ( $P$ ), gelecekteki değerini ( $F$ ) bulmak için kullanılacak formül aşağıdaki gibidir:



$$F = P(1 + i)^n \quad (4.1)$$

Belli bir gelecekteki değerin (F), şimdiki değeri (P) de aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P = F(1 + i)^{-n} \quad (4.2)$$

Belli bir yıllık getirinin (A), gelecekteki değerini (F) gösteren formül aşağıdaki gibidir:

$$F = A \left[ \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right] \quad (4.3)$$

Yine aynı şekilde gelecekteki bir değerin (F), yıllık getiriye (A) nasıl dönüştürüleceğini gösteren formül de aşağıdaki gibidir:

$$A = F \left[ \frac{i}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad (4.4)$$

Şimdiki değer (P) ve yıllık getiri değerlerinin (A) birbirlerine nasıl dönüştürüldüğüne ilişkin, belli bir mevcut değerin (P) yıllık değere (A) dönüşümü aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$A = P \left[ \frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad (4.5)$$

Belli bir yıllık değerin (A), şimdiki değere (P) dönüşümünü gösteren formül de aşağıdaki gibidir:

$$P = A \left[ \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} \right] \quad (4.6)$$

Mali analizler yukarıda verilen formüller doğrultusunda yapılacaktır. Panellerin yıllık verim düşümü de dikkate alınarak, FGS ile elde edilebilecek sabit bir yıllık getiri değerinin (A) belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Çizelge 4.7'de verilen sistem dahilinde elde edilebilecek yıllık getirilerin ortalaması alınmıştır. 25 yıllık getirilerin ortalaması sonucu yıllık getiri (A) 140.151,36 TL olarak hesaplanmıştır.

#### 4.5.1 Şimdiki değer yöntemi (PW)

Şimdiki değer yönteminde, incelenecek dönem içerisindeki bütün nakit akışlar şimdiki değere dönüştürülerek hesap yapılır. Yapılan hesap sonrası elde edilecek pozitif bir PW, projenin ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu anlamına gelmektedir.

Her yıl boyunca FGS kapsamında elde edilecek getiriler (A) ve gelecekte sistemin tasfiyesi sonucu elde edilecek hurda geliri (F), şimdiki değer (P) türüne dönüştürülerek hesap yapılacaktır.

$$PW = -P + A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + F(1+i)^{-n} \quad (4.7)$$

$$PW = -1.389.052,22 + 140.151,36 \left[ \frac{(1+0,08)^{25} - 1}{0,08(1+0,08)^{25}} \right] + 22.400(1+0,08)^{-25} \quad (4.7a)$$

$$PW = -1.389.052,22 + 1.496.084,40 + 3.270,801 = 110.302,90 \text{ TL} \quad (4.7c)$$

Sonuçta; pozitif bir değer olarak hesaplanan PW, projenin ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

#### 4.5.2 Gelecek değer yöntemi (FW)

Gelecek değer yönteminde, sistemin toplam işletme süresi içerisindeki bütün nakit akışlar gelecek değere dönüştürülerek hesap yapılır. Yapılan hesap sonrası elde edilecek pozitif bir FW, projenin ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu anlamına gelmektedir.

Her yıl boyunca FGS kapsamında elde edilecek getiriler (A) ve sistemin ilk yatırım maliyeti (P), gelecek değer (F) türüne dönüştürülerek hesap yapılacaktır.

$$FW = -P(1+i)^n + A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] + F \quad (4.8)$$

$$FW = -1.389.052,22(1+0,08)^{25} + 140.151,36 \left[ \frac{(1+0,08)^{25} - 1}{0,08} \right] + F \quad (4.8a)$$

$$FW = -9.512.889,67 + 10.245.896,91 + 22.400 = 755.407,23 \text{ TL} \quad (4.8b)$$

Gelecek Değer Yöntemi (FW) sonucu elde edilen pozitif değer, projenin ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

#### 4.5.3 Yıllık değer yöntemi (AW)

Yıllık değer yönteminde, sistemin toplam işletme süresi içerisindeki bütün nakit akışlar yıllık değere dönüştürülerek hesap yapılır. Yapılan hesap sonrası elde edilecek pozitif AW değeri, projenin ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu anlamına gelmektedir.

Her yıl boyunca FGS kapsamında elde edilecek getirilerin ortalama değeri hesaba aynı şekilde dahil edilecek olup, sistemin ilk yatırım maliyeti (P) ve sistem işletim süresi sonundaki hurda bedeli (F) yıllık değer (A) türüne dönüştürülerek hesap yapılacaktır.

$$AW = -P \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + A + F \left[ \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4.9)$$

$$AW = -1.389.052,22 \left[ \frac{0,08(1+0,08)^{25}}{(1+0,08)^{25}-1} \right] + A + 22.400,00 \left[ \frac{0,08}{(1+0,08)^{25}-1} \right] \quad (4.9a)$$

$$AW = -130.124,72 + 140.151,36 + 306,405 = 10.333,048 \text{ TL} \quad (4.9b)$$

Yıllık Değer Yöntemi (AW) sonucu elde edilen pozitif değer de projenin ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

#### 4.5.4 Fayda/maliyet oranı (BCR)

Fayda/Maliyet Oranı (BCR) kapsamında, bütün faydalar ve bütün maliyetler bugünkü değerlerine dönüştürülerek hesap yapılır. Kar/Yatırım Oranı (SIR) olarak da bilinen Fayda/Maliyet Oranı kapsamında sistem işletim süresi sonunda elde edilecek olan hurda değeri, başlangıç maliyetinin azaltılması olarak kullanılarak toplam maliyet hesabı içerisinde kullanılır. Bu hesap yönteminde tek fayda yıllık getirilerdir. Fayda/Maliyet Oranı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{Fayda Maliyet Oranı (BCR)} = \frac{\text{Eşdeğer Fayda}}{\text{Eşdeğer Maliyet}} \quad (4.10)$$

Eşdeğer Fayda olarak belirtilen bütün faydaların şimdiki değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$PW = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] = 140.151,36 \left[ \frac{(1+0,08)^{25} - 1}{0,08(1+0,08)^{25}} \right]$$

$$= 1.496.084,40 \text{ TL} \quad (4.10a)$$

Eşdeğer Maliyet çerçevesinde de sistemin ilk başlangıç maliyeti hesaba olduğu gibi dahil edilip, işletim ömrü sonunda elde edilecek hurda değeri bugünkü değerine dönüştürülecektir.

$$PW = P + F(1+i)^{-n} = 1.389.052,22 + 3.270,801$$

$$= 1.385.781,42 \text{ TL} \quad (4.11)$$

$$\text{Fayda Maliyet Oranı (BCR)} = \frac{1.496.084,40}{1.385.781,42} = 1,08 \quad (4.12)$$

Genel olarak Fayda/Maliyet Oranı'nın 1'den büyük olması projenin ekonomik olarak uygulanır olduğunu göstermektedir. İlgili fotovoltaik güç sistem projesi kapsamında yapılan Fayda/Maliyet Oranı değeri 1,08 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Fayda/Maliyet Oranı hesabı da projenin ekonomik olarak uygulanır olduğu sonucunu göstermektedir.

#### 4.5.5 Geri dönüşüm oranı (IRR)

Geri Dönüşüm Oranı (IRR), maliyetlerin bugünkü değeriyle, sistem dahilinde elde edilecek faydaların bugünkü değerini birbirine eşitleyen faiz oranının (i) hesabıdır. Elde edilen faiz oranı (i), Minimum Geri Dönüşüm Oranı'ndan (MARR) büyükse proje ekonomik olarak uygulanır anlamına gelmektedir.

$$P = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + F(1+i)^{-n} \quad (4.13)$$

$$1.389.052,22 = 140.151,36 \left[ \frac{(1+i)^{25} - 1}{i(1+i)^n} \right] + 22.400(1+i)^{-25} \quad (4.13a)$$

Yapılan hesap kapsamında maliyetlerin bugünkü değeriyle, faydaların bugünkü değerini birbirine eşitleyen *i* değeri yaklaşık olarak %8,91 olarak bulunmaktadır. Elde

edilen faiz oranı ( $i$ ), proje kapsamında belirlenen Minimum Geri Dönüşüm Oranı olan %8'den büyük olduğundan, bu hesap yöntemiyle de sistemin ekonomik olarak uygulanır olduğu ortaya çıkmaktadır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında incelenen, Prokon-Ekon Şirketler Grubunun Ankara/Kazan'daki binasının çatısına uygulanan fotovoltaik güç sistemi ile sistemin onaylandığı Temmuz 2013'ten itibaren 18 aylık dönemde toplam 230.864,64 TL getiri sağlanmıştır. Gerçekleştirilen mali analizler sonucu olarak da sistemin ekonomik olarak uygulanabilir olduğu ortaya çıkmıştır. Tesis edildiği tarihteki kur değeri ile, başlangıç maliyeti 1.389.052,22 TL olan sistemin 10 yıldan az bir süre içerisinde kendisini geri ödeyeceği öngörülmektedir.

*Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik* kapsamında kurulumu tamamlanan ve onaylanan FGS ile, iki ayrı başlık altında getiri sağlanabilmektedir. Bunlar; şebekeden alınacak olan elektrik enerjisi miktarındaki azalma ve tüketim fazlası üretimin olduğu zamanlarda şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisi kaynaklı gelirlerdir. Şebekeye satılan elektrik enerjisinin birim fiyatı yönetmelikte belirtildiği üzere 0,133 ABD\$/kWh'tir.

FGS'nin hiç kurulmadığı bir durumda elektrik enerjisi giderleri açısından nasıl bir durumun ortaya çıkacağı da Bölüm 4.4'de incelenmiştir. Bu incelemede FGS kapsamında üretilip, bina ihtiyacı dahilinde kullanılan elektrik enerjisi miktarı ve aylık bazda binanın ortalama elektrik enerjisi alış birim fiyatları parametre olarak kullanılmıştır. FGS'nin tesis edilmediği bir senaryoda 1.389.052,22 TL olan başlangıç maliyeti hiç ödenmemiş olacak, ancak Temmuz 2013-Aralık 2014 arası 18 aylık dönemde şebeke elektrik enerjisi ücreti olarak 181.254,91 TL ek ödeme yapılacaktır. Yine aynı dönemde toplam 49.609,74 TL olan, şebekeye satışı yapılan elektrik enerjisi kaynaklı gelir de elde edilememiş olacaktır. Bu gelir yönetmelikte belirtildiği üzere 0,133 ABD\$/kWh birim fiyatı üzerinden hesaplanmıştır.

Bir alternatif senaryo oluşturularak bu senaryonun sonuçları değerlendirilebilir. Bu tez kapsamında incelenen sistem ile üretilen elektrik enerjisi çoğunlukla bina elektrik enerjisi ihtiyacı dahilinde kullanılmaktadır. Bölüm 4.4 ve Çizelge 4.4'de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi binanın aylık ortalama elektrik enerjisi alış birim fiyatı 0,20-0,25 TL/kWh bandında seyretmektedir. Ancak yönetmelik kapsamında üretilecek olan

elektrik enerjisinin şebekeye verilmesi durumunda 0,133 ABD\$/kWh birim fiyat üzerinden gelir elde edilebilmektedir. Bu doğrultuda binada üretilen tüm elektrik enerjisinin şebekeye satışı yapılması durumunda nasıl bir gelir edileceği ve nasıl bir durumun ortaya çıkacağı Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelgede kur dönüşümü yapılırken, ilgili ayın bir sonraki ayının ilk resmi çalışma gününe ait kur değerleri dikkate alınmıştır. Örnek olarak Temmuz 2013 ayındaki ABD\$ cinsinden elde edilen gelir TL’ye çevirilirken 1 Ağustos 2013 tarihli T.C. Merkez Bankası verileri kullanılmıştır.

**Çizelge 5.1:** Alternatif senaryoya göre elde edilebilecek gelir.

Aylar	FGS ile üretilen toplam elektrik enerjisi (kWh)	Birim Fiyat (ABD\$/kWh)	Toplam Gelir (ABD\$)	Toplam Gelir TL Karşılığı
Temmuz 2013	76.036,64	0,133	10.112,87	19.602,79
Ağustos 2013	81.950,83	0,133	10.899,46	22.013,64
Eylül 2013	70.941,06	0,133	9.435,16	19.000,53
Ekim 2013	54.120,45	0,133	7.198,012	14.467,30
Kasım 2013	37.429,10	0,133	4.978,07	10.114,94
Aralık 2013	23.418,34	0,133	3.114,64	6.776,52
Ocak 2014	20.395,78	0,133	2.712,64	6.150,91
Şubat 2014	42.361,94	0,133	5.634,14	12.521,87
Mart 2014	59.209,05	0,133	7.878,80	16.955,24
Nisan 2014	67.706,64	0,133	9.004,98	19.010,42



**Çizelge 5.1 (devam):** Alternatif senaryoya göre elde edilebilecek gelir.

Mayıs 2014	81.094,62	0,133	10.785,58	22.647,57
Haziran 2014	78.298,79	0,133	10.413,74	22.110,45
Temmuz 2014	78.381,95	0,133	10.424,80	22.397,68
Ağustos 2014	76.540,36	0,133	10.179,87	22.033,31
Eylül 2014	59.492,72	0,133	7.912,53	18.096,75
Ekim 2014	37.840,13	0,133	5.032,73	11.217,97
Kasım 2014	32.551,31	0,133	4.329,32	9.628,85
Aralık 2014	20.256,14	0,133	2.694,07	6.328,63
	TOPLAM		132737,40	281.075,40

Çizelge 5.1’den de görülebildiği üzere alternatif senaryo ile sistemin onaylandığı tarih olan 2013 Temmuz’dan itibaren 18 aylık süreçte elde edilebilecek olan gelir 281.075,40 TL’dir. Mevcut durumda aynı süreçteki elde edilen getiri 230.864,64 TL olarak kaydedilmiştir. Toplamda 50.210,76 TL tutarında ve %21,75 oranında bir fark görülmektedir. Bina aylık ortalama elektrik enerjisi alış birim fiyatı, yönetmelik kapsamında belirlenen elektrik enerjisi satış birim fiyatının çok daha altında seyrettiği için 18 aylık dönemde yukarıda sözü edilen fark ortaya çıkmıştır. FGS ile üretilen elektrik enerjisinin doğrudan şebekeye satışının yapılabilmesi için, mevcut sisteme ek bir Orta Gerilim Trafo Merkezi kurulması gerekmektedir. Bu Trafo Merkezi ve ek bileşenleri başlangıç maliyetini artırmasına rağmen, toplamda sistemin kendisini geri ödeme süresini de azaltmaktadır. Yılda elde edilebilecek 191.372,18 TL gelir, 1.389.052,22 TL tutarındaki başlangıç maliyeti ve ek olarak yaklaşık 55.000 TL ek trafo ve trafo bileşenleri maliyetleri kullanılarak Basit Geri Dönüşüm Maliyet Analizi (*Simple Payback Period –SPP-*) hesabı yapıldığında sistemin kendini geri ödeme süresi:

$$SPP = \frac{\text{İlk maliyet}}{\text{Yıllık Getiri}} = \frac{1.444.052,22}{191.372,18} \approx 7,55 \quad (5.1)$$

yıl olarak hesaplanmaktadır.

Aynı yöntemle mevcut durum için hesap yapıldığında ise sistemin kendini geri ödeme süresi,

$$SPP = \frac{\text{İlk maliyet}}{\text{Yıllık Getiri}} = \frac{1.389.052,22}{157.296,61} \approx 8,83 \quad (5.2)$$

yıl olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dünyada binalarda fotovoltaik güç sistemlerinin kullanımıyla ilgili verilen destekler arasında ülkeden ülkeye farklılıklar bulunmaktadır. Bu destekler öncelik olarak ticari uygulamalar ya da daha küçük ölçekli öztüketim amaçlı uygulamalar gibi sınıflara ayrılmışlardır. Küçük ölçekli uygulamalar ya da bina odaklı uygulamalar ile ilgili destekler genelde şebekeye satışı yapılacak elektrik enerjisi birim fiyat teşviği şeklinde olurken bazı ülkelerde vergi muafiyeti yöntemi de uygulanmaktadır. Kimi ülkeler, kapasite aralıkları getirmekte ve kapasite aralıklarına göre ilgili destekleri değiştirmektedir. Ya da verilen desteklerin süresi, ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilmektedir. Çizelge 5.2’de çeşitli ülkelerin fotovoltaik güç sistemleri için belirledikleri destek mekanizmaları verilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Çeşitli ülkelerin FGS için belirledikleri destek mekanizmaları (Karteris ve diğ., 2012).

Ülke	Destek Mekanizması	Toplam Destek	Süre (yıl)	Uygulama
Avusturya	Şebeke besleme	0,38 €/kWh	13	5-20 kWp
Bulgaristan	Şebeke besleme	0,3091 €/kWh	20	<30 kWp

**Çizelge 5.2 (devam):** Çeşitli ülkelerin FGS için belirledikleri destek mekanizmaları (Karteris ve diğ., 2012).

Fransa	Vergi muafiyeti	%50 vergi indirimi (8.000-16.000€ arası) ve %5.5 KDV indirimi	-	<3 kWp
	Şebeke besleme	0,46 €/kWh	20	<9 kWp
	Şebeke besleme	0,4025 €/kWh	20	9-36 kWp
	Şebeke besleme	0,3035 €/kWh	20	>36 kWp
Almanya	Şebeke besleme	0,2874 €/kWh	20	<30 kWp
	Şebeke besleme	0,2501 €/kWh	20	<30 kWp (öz tüketim sistemler için)
İtalya	Vergi teşviği	%10 KDV indirimi	-	Tüm FGS için
	Şebeke besleme	0,32 €/kWh	20	<3 kWp (çatı üzeri)
	Şebeke besleme	0,288 €/kWh	20	<20 kWp (çatı üzeri)

**Çizelge 5.2 (devam):** Çeşitli ülkelerin FGS için belirledikleri destek mekanizmaları (Karteris ve diğ., 2012).

Kıbrıs Rum Kesimi	Sermaye desteği	%55 (maksimum 33.000€)	-	<20 kWp
Yunanistan	Vergi teşviği	Gelir vergisi muafiyeti	-	<10 kWp
	Vergi teşviği	%20 vergi indirimi (maksimum 700€)	-	<10 kWp
Türkiye	Şebeke besleme	0,133 ABD\$/kWh	10	<1000 kW

Çizelge 5.2’den görülebildiği üzere, Türkiye FGS ile ilgili olarak sadece tek bir destek mekanizması belirlemiştir. Diğer ülkelerde olduğu gibi, uygulama türüne ya da kapasite aralıklarına göre değişen destekler, vergi muafiyetleri veya sermaye destekleri tanımlanmamıştır. Bu da 1 kW kapasiteli sistemle 1.000 kW kapasiteli bir sistemin, bu iki sistemin çatı üzeri uygulama ya da arazi üzeri uygulaması olmaları fark etmeksizin aynı destek mekanizmasından yararlanması anlamına gelmektedir.

Arazi üzeri sistemlerle binalara yapılan fotovoltaik güç sistemleri arasındaki genel fark sistemin kuruluş amacıdır. Genel itibariyle arazi üzeri sistemler ticari olarak düşünülüp uygulanırken, binalardaki fotovoltaik güç sistemleri öztüketim amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu iki uygulama türünün aynı ve eşit bir destek mekanizmasına tabi tutulması çok doğru bir yaklaşım değildir. Keza birçok Avrupa ülkesinde binalar için belirlenen teşvikler ve diğer destekler arazi üzeri uygulamalara oranla daha yüksektir. Buradaki amaç, boş durumdaki çatıların enerji üretiminde kullanılması ve tüketim noktasında üretim sağlanarak kayıpların azaltılmasıdır. Türkiye’de de binalarda FGS’lerin teşvik miktarları ve destekleri artırılarak toplum bu konuda özendirilmeli ve bu sistemlerin yaygınlaşması sağlanmalıdır. Boş ve kullanılmayan durumdaki birçok çatının üretime kazandırılması Türkiye gibi kayıp ve kaçak elektrik enerjisi problemi olan bir ülke için kayıp/kaçak oranlarının azalması anlamına da gelecektir.

Bu gibi sistemlere sağlanan teŖvikler ve desteklerin artırılmasıyla, ülke toplam elektrik enerjisi üretimi temiz ve yenilenebilir bir enerji türüyle artırılabilir ve Türkiye'nin artan enerji talebine daha sürdürülebilir bir Ŗekilde kaynak yaratılabilir. atı zeri FGS'lere sağlanacak teŖvik ve desteklerle, bu sistemlerin kendilerini ödeme süreleri de çok daha aŖađlara çekilebilecektir.

Türkiye'nin enerji verimliliği stratejisi çerçevesinde belirlediği amaçlar doğrultusunda enerji verimliliğinin artırılması ve enerji yoğunluğunun azaltılması hususunda binalarda fotovoltaik güç sistemlerinin yaygınlaŖması, istenilen hedeflere ulaŖımda olumlu bir etki yaratacaktır. FGS'lerin yaygın bir Ŗekilde uygulanması binaların enerji bağımsızlığını da artıracaktır. zendirmeye alıŖılan yenilenebilir enerji türlerinden fotovoltaik güç sistemlerinin ve fotovoltaik güç sistemleri içerisinde binalarda uygulanan çatı üzeri fotovoltaik güç sistemlerinin önemi bu noktalarda daha da artmaktadır.



## KAYNAKLAR

- Ceron, I., Caamano-Martin, E., & Javier Neila, F.** (2013). "State-of-the-art" of building integrated photovoltaic products. *Renewable Energy*, **58**, 127-133.
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M., & Lenny Koh, S.** (2012). Renewable energy options for buildings: Performance evaluations of integrated photovoltaic systems. *Energy and Buildings*, **55**, 208-217.
- Day, A., Ogumka, P., Jones, P., & Dundson, A.** (2009). The use of the planning system to encourage low carbon energy Technologies in buildings. *Renewable Energy*, **34**, 2016-2021.
- Defaix, P., van Sark, W., Worrell, E., & de Visser, E.** (2012). Technical potential for photovoltaics on buildings in the EU-27. *Solar Energy*, **86**, 2644-2653.
- European Commision Joint Research Centre.** (2006). *Photovoltaic Solar Electricity Potential in european Countries.*
- European Photovoltaic Industry Association (EPIA).** (2013). *Global Market Outlook for Photovoltaics until 2017.*
- European Photovoltaic Industry Association (EPIA).** (2014). *Market Report 2013.*
- Garrido-Soriano, N., Rosas-Casals, M., Ivancic, A., & Dolores Alvarez-del Castillo, M.** (2012). Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study. *Energy and Buildings*, **49**, 119-125.
- Genesis Energy.** *Student Fact Sheets: A Short History of Photovoltaic (PV) Cells.* Schoolgen, Yeni Zelanda.
- Huo, M., & Zhang D.** (2012). Lessons from photovoltaic policies in China for future development. *Energy Policy*, 38-45.
- International Renewable Energy Agency (IRENA).** (2012). *Solar Photovoltaics. Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series, Volume I: Power Sector Issue 4/5.*
- Jelle, B. P., & Breivik, C.** (2012). Technoport RERC Research 2012. State-of-the-art building integrated photovoltaics. *Energy Procedia*, **20**, 68-77.
- Jiang, P., & Keith Tovey, N.** (2009). Opportunities for low carbon sustainability in large commercial buildings in China. *Energy Policy*, **37**, 4949-4958.
- Karteris, M., & Papadopoulos, A. M.** (2012). Residential photovoltaic systems in Greece and in other European countries: a comparison and an overview. *Advances in Building Energy Research*, 1-18.
- Kneifel, J.** (2010). Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings. *Energy and Buildings*, **42**, 333-340.
- Oktik, Ş.** (2014). Lisanssız Elektrik Üretimi ile İlgili Güneş Enerji Santrali (GES) Yatırımcı ve Uygulayıcı Firmalara Yönelik Eğitim Sunumu. İstanbul, Türkiye.
- Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G.** (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 3359-3573.

- Peng, C., Huang, Y., & Wu, Z.** (2012). The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family urban residences at low latitudes in Brazil. *Energy and Buildings*, **50**, 290-297.
- Portolan dos Santos, I., & R  ther, R.** (2011). Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China. *Energy and Buildings*, **43**, 3592-3598.
- Reijenga, S. R., Santos, A. C., & Gil, M. C.** (2012). EU plans for renewable energy. An application to the Spanish case. *Renewable Energy*, **43**, 322-330.
- S  zer, H.** (2010). Improving energy efficiency through the design of the building envelope. *Building and Environment*, **53**, 1-13.
- T.C. Enerji Piyasası D  zenleme Kurumu.** (2013). Elektrik Piyasasında Lisanssuz Elektrik  retimine İlişkin Yönetmelik. Ankara.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2014). 2015 Plan ve B t e Komisyonu KonuŐması. Ankara, Türkiye.
- T.C. Ko  Üniversitesi.** (2012). *Türkiye'nin Enerji Verimliliği Haritası ve Hedefler*. İstanbul.
- Todorovic, M. S.** (2012). BPS, energy efficiency and renewable energy sources for buildings greening and zero energy cities planning. Harmony and ethics of sustainability. *Energy and Buildings*, **48**, 180-189.
- Tull, B.** (2001). Photovoltaic Cells: Science and Materials.
- Woodhouse, M., & Goodrich, A.** (2014). *Manufacturing Cost Analysis Relevant to Single- and Dual-Junction Photovoltaic Cells Fabricated with III-Vs and III-Vs Grown on Czochralski Silicon*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Yoon, J., Song, J., & Lee, S.** (2011). Practical application of building integrated photovoltaic (BIPV) system using transparent amorphous silicon thin-film PV module. *Solar Energy*, **85**, 723-733.
- Url-1.** <<http://www.iea.org/statistics>>, alındığı tarih: 25.04.2015.
- Url-2.** <<http://www.mgm.gov.tr>> , alındığı tarih: 22.01.2015.
- Url-3.** <<http://www.tcmb.gov.tr>> , alındığı tarih: 01.05.2015.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Sercan KESKİNEL

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Eminönü / 28.08.1991

**Adres:** Atatürk Mah. Ahmet Yesevi Sok. Emine Kaya Blokları No:19/1 D:15  
Büyüçekmece/İstanbul

**E-Posta:** sercankeskinel@gmail.com

**Lisans:** İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

### **Mesleki Deneyim:**

ELSE Enerji - Proje ve Satış Mühendisi (Haziran 2014 - ... )

ELSE Enerji - Proje Asistanı (Temmuz 2013 – Mayıs 2014).

