



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Stadyumlara Entegre Edilmesi**

---

Ezgi ARSLAN TUNCAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Elektrik Elektronik  
Mühendisliği

**DANIŞMAN**  
Prof. Dr. Bülent ORAL

İSTANBUL, 2019

---



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Stadyumlara Entegre Edilmesi**

---

Ezgi ARSLAN TUNCAR

(523114028)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Elektrik Elektronik  
Mühendisliği

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Bülent ORAL

İSTANBUL, 2019

---

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Ezgi Arslan Tuncar'ın

48.09.2019

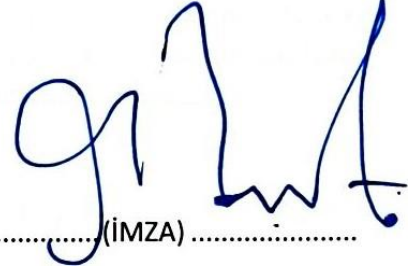
"Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Stadyumlara Entegre Edilmesi" başlıklı tez çalışması, tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Bülent ORAL

(Danışman)

Marmara Üniversitesi

  
(İMZA)

Doç. Dr. Şafak SAĞLAM

(Üye)

Marmara Üniversitesi

  
(İMZA)

Dr. Öğr. Üyesi Altuğ BOZKURT

(Üye)

Yıldız Teknik Üniversitesi



(İMZA)

**ONAY**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun P.İğf/2019 tarih ve 2019/10-0 sayılı kararı ile Ezgi Arslan Tuncar'ın Elektrik Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
  


## TEŞEKKÜR

Kendisiyle çalışma fırsatı yakalayamasaydım ortaya çıkamayacağını düşündüğüm bu çalışma için, çok değerli bilgi birikimini ve vaktini benimle paylaşan, benden özellikle sabrını hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Bülent Oral'a sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum.

Uzun yıllardır süre gelen öğrencilik yaşantım boyunca desteklerini her an yanımda hissettiğim değerli annem Leyla Arslan, babam Cafer Arslan ve kardeşim Burhan Can Arslan'a, geniş, güzel ve biricik ailem Okumuş ailesine, her zaman destekçim, en yakın arkadaşım ve hayat arkadaşım eşim Cüneyt Tuncar'a özel teşekkürlerimle.

İstanbul, Ocak 2019

Ezgi ARSLAN TUNCAR

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
SEMBOLLER .....	vi
KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ .....	xi
1.GİRİŞ VE AMAÇ .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2 Amaç .....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Literatür .....	3
2.2 Enerji Kaynakları .....	9
2.2.1. Konvansiyonel enerji kaynakları.....	10
2.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları.....	11
2.3. Fotovoltaik Sistemler.....	17
2.3.1. Fotovoltaik sistem bileşenleri .....	18
2.3.2. Şebeke bağlantılı sistemler.....	23
2.3.3. Şebekeden bağımsız sistemler.....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Fotovoltaik sistemin teknik analizi .....	25
3.1.1. Sistem tasarımı .....	25
3.1.2 Genel yerleşim planı.....	33
3.1.3 Sistem tek hat şeması .....	36
3.2 Simülasyon Programları ile Analizi.....	39
3.2.1 Alanya Stadı .....	39
3.2.2 Mersin stadı.....	49
3.2.3 Gaziantep stadı .....	60

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71
4.1. Simülasyon Sonuçları Analizi .....	71
4.2. Ekonomik Analiz .....	71
4.3 Türkiye Değerlendirmesi .....	75
5. SONUÇ.....	76
KAYNAKLAR.....	78
EKLER .....	82
Ek 1: Gaziantep ve Mersin Stadyumları İçin Tek Hat Şeması .....	82
Ek 2: Alanya Stadyumu İçin Tek Hat Şeması .....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	83

## ÖZET

### FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN STADYUMLARA ENTEGRE EDİLMESİ

Dünya’da enerji tüketimi düzenli olarak artmakta ve ihtiyaç duyulan enerji çoğunlukla fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve en önemlisi çevreye verdikleri zararlar dikkate alındığında, yenilenebilir enerji olarak güneş enerjisi önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır.

Yerleşim alanları, enerji tüketiminin yüksek ve karbondioksit emisyonunun fazla olduğu yerlerdir. Bu gibi alanlarda enerji üretim merkezleri oluşturmak, çoğu zaman yeterli alanların bulunmasındaki zorlukları ile mümkün olamamaktadır. Stadyumlar, kapladıkları geniş alanlar ve oyun günleri dışında kullanılmaması ile alternatif bir alan olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye, güneş enerji potansiyeli açısından zengin bir ülke olup, 2013 yılında resmi gazetede yayımlanan 6.446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu 14. Maddesi kapsamında lisanssız üretim için üst sınır olan 1MW olarak benimsemiştir. Ayrıca, ülkede yerleşim alanlarında futbol stadyumlarının sayıları her geçen gün artmaktadır

Bu çalışma kapsamında, kentsel alanlardaki güneş enerji potansiyelinin değerlendirilmesi için stadyum çatılarına kurulabilecek fotovoltaik sistemlerin analizi yapılmıştır. Sistemin yatırım maliyeti, enerji üretimi, kendini amorti süresi ve performansı dikkate alınarak, Türkiye’de bu gibi projelerin yapılabilirlikleri analiz edilmiştir. Bu kapsamda detaylı teknik analizi yapılmış olup, iki farklı simülasyon programında sistemler analiz edilmiştir. PVsol ve PVSyst programlarında yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırılmış ve fotovoltaik sistemler ekonomik olarak analiz edilmiştir.

Enerji ihtiyacının hızla arttığı günümüzde, yenilenebilir enerji tesislerinin sayılarını arttırmak hem enerji ekonomisine katkısı hem de çevre dostu ve sürdürülebilir olması sebebiyle önemlidir.

Ele alınan bakış ve yapılan analizler bağlamında bu çalışma ile oyun zamanları dışında atıl kalan stadyumların kullanımı ve yenilenebilir enerji üretimi hedeflenmiştir.

## **ABSTRACT**

### **INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS ON STADIUMS**

Energy consumption in the world is increasing regularly and the energy needed is supplied mostly from fossil fuels. Fossil fuel reserves are limited and most importantly, considering their damages has been given to the environment, as a renewable energy, solar energy is an important alternative.

Residential areas are places where energy consumption is high and carbon dioxide emissions are high. Creating power generation centers in such areas, most of the time is not possible with difficulties that not in finding sufficient areas. Stadiums, cover large areas and stand out as an alternative area by not used outside the game days.

Turkey is a country rich in solar energy potential, in 2013, it adopted 1MW as the upper limit for unlicensed production under Article 14 of the Electricity Market Law No. 6.446 published in the official gazette. In addition, the number of football stadiums in residential areas in country is increasing day by day.

In this scope of study, that for the assessment of solar energy potential in urban areas that has been conducted analysis of the photovoltaic systems that will be installed on the roofs of the stadium.

Considering the investment cost of the system, energy production, self-pay period and its performance, has been analyzed their feasibility of such projects in Turkey. In this scope detailed technical analysis has been done, the systems has been analyzed in two different simulation programs. The results of the analyzes in PVsol and PVsyst programs have been compared and photovoltaic systems have been analyzed economically.

In today's increasing rapidly energy demand, it is important because of its contribution to the energy economy as well as being environmentally friendly and sustainable.

Overview and with this study in the context of analyzes are made that the use of stadiums remaining outside the play times and the production of renewable energy has been targeted.

## SEMBOLLER

A	: Diyotun Kalite Faktörü
$\beta$	: Yüzeyin Eğim Açısını
$CO_2$	: Karbondioksit
I <sub>sc</sub>	: Kısa Devre Akımı
K	: Boltzmann Sabiti
K <sub>I</sub>	: Akım Sıcaklık Katsayısı
K <sub>V</sub>	: Gerilim Sıcaklık Katsayısı
$NO_2$	: Azotdioksit
P <sub>MP</sub>	: Maksimum Güç Değeri
q	: Mutlak Elektron Yük Değeri
$\Theta$	: Geliş Açısı
$\Theta_Z$	: Zenit Açısı
$SO_2$	: Kükürtdioksit
T	: Kelvin Değerinden Sıcaklık
V <sub>OC</sub>	: Açık Devre Gerilimi

## **KISALTMALAR**

A :Amper

AC :Alternatif Akım

°C :Santigrat Derece

DC :Doğru Akım

EİE :Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

GWh :Giga Vat Saat

Hz :Hertz

Kg :Kilogram

kWp :Kilo Vat Pik

LEED :Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik sertifikasını

MWh :Mega Vat Saat

Mm :Milimetre

V :Volt

W :Vat

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Mage Solar Stadyumu

Şekil 2.2 Koahsiung Main Stadyumu

Şekil 2.3 Levi's ve Mineirao Futbol Stadyumu

Şekil 2.4 Stade de Suisse ve Wembley Stadyumu

Şekil 2.5 Antalya Stadyumu

Şekil 2.6 FedEx Field

Şekil 2.7 US Airways Center

Şekil 2.8 Küresel Olarak PV Kapasitesinin Kümülatif Büyümesi

Şekil 2.9 Ülkelere Göre Yıllık Fotovoltaik Modül Üretim Adetleri

Şekil 2.10 Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası

Şekil 2.11 Türkiye Global Radyasyon Değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün)

Şekil 2.12 Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat)

Şekil 2.13 RS Model Tek Diyotlu Hücrenin Modeli

Şekil 2.14 Rp Model Tek Diyotlu Hücrenin Modeli

Şekil 2.15 Çift Diyotlu Hücrenin Modeli

Şekil 3.1 Sistem Kurulumunda İzlenecek Adımlar

Şekil 3.2 Azimut Açısı

Şekil 3.3 Enlem Açısı

Şekil 3.4 Zenit Açısı

Şekil 3.5 Güneş Yükseklik Açısı

Şekil 3.6 Paneller Arındaki Mesafe

Şekil 3.7 Alanya Stadyumu Genel Yerleşim Planı

Şekil 3.8 Alanya Stadyumu Genel Yerleşim Planında Bulunan Detay-A

Şekil 3.9 Mersin Stadyumu Genel Yerleşim Planı

Şekil 3.10 Gaziantep Stadyumu Genel Yerleşim Planı

Şekil 3.11 Antalya İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

Şekil 3.12 Alanya Global Radyasyon Değerleri (Kwh/m<sup>2</sup>- Gün) ve Alanya Güneşlenme Süreleri (Saat)

- Şekil 3.13 Alanya Stadı'na Ait Simülasyon Parametreleri
- Şekil 3.14 Alanya Stadı PV Dizi Kayıp Değerleri
- Şekil 3.15 PV Modül ve Eviricilerin Karakteristik Özellikleri
- Şekil 3.16 Alanya Stadı Sistem Simülasyon Sonuçları
- Şekil 3.17 Alanya Stadı Aylara Göre Simülasyon Değerleri
- Şekil 3.18 Alanya Stadı Sistem Kayıp Diyagramı
- Şekil 3.19 Alanya Stadı Şebekeye Bağlı Sistem Parametreleri
- Şekil 3.20 Alanya Stadı Sistem Kurulum Bilgileri
- Şekil 3.21 Alanya Stadı Evirici Seçimi ve Ufuk Çizgisi Açısı
- Şekil 3.22 Alanya Stadı Sistem Enerji Bilançosu
- Şekil 3.23 Mersin İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
- Şekil 3.24 Mersin Global Radyasyon Değerleri (Kwh/m<sup>2</sup>-Gün) ve Mersin Güneşlenme Süreleri (Saat)
- Şekil 3.25 Mersin Stadı'na Ait Simülasyon Parametreleri
- Şekil 3.26 Mersin Stadı PV Modül ve Eviricilerin Karakteristik Özellikleri
- Şekil 3.27 Mersin Stadı PV Dizi Kayıp Değerleri
- Şekil 3.28 Mersin Stadı Sistem Simülasyon Sonuçları
- Şekil 3.29 Mersin Stadı Aylara Göre Simülasyon Değerleri
- Şekil 3.30 Mersin Stadı Sistem Kayıp Diyagramı
- Şekil 3.31 Mersin Stadı Şebekeye Bağlı Sistem Parametreleri
- Şekil 3.32 Mersin Stadı Sistem Kurulum Bilgileri
- Şekil 3.33 Mersin Stadı Evirici Seçimi ve Ufuk Çizgisi Açısı
- Şekil 3.34 Mersin Stadı'na Ait Simülasyon Sonuçları
- Şekil 3.35 Mersin Stadı PV Sistem Enerji Bilançosu
- Şekil 3.36 Gaziantep İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
- Şekil 3.37 (a) Gaziantep Global Radyasyon Değerleri (Kwh/m<sup>2</sup>-Gün) ve Gaziantep Güneşlenme Süreleri (Saat)
- Şekil 3.38 Gaziantep Stadı'na Ait Simülasyon Parametreleri
- Şekil 3.39 Gaziantep Stadı PV Modül ve Eviricilerin Karakteristik Özellikleri
- Şekil 3.40 Gaziantep Stadı PV Dizi Kayıp Değerleri

Şekil 3.41 Gaziantep Stadı Sistem Simülasyon Sonuçları

Şekil 3.42 Gaziantep Stadı Aylara Göre Simülasyon Değerleri

Şekil 3.43 Gaziantep Stadı Sistem Kayıp Diyagramı

Şekil 3.44 Gaziantep Stadı Şebekeye Bağlı Sistem Parametreleri

Şekil 3.45 Gaziantep Stadı Sistem Kurulum Bilgileri

Şekil 3.46 Gaziantep Stadı Evirici Seçimi ve Ufuk Çizgisi Açısı

Şekil 3.47 Gaziantep Stadı'na Ait Simülasyon Sonuçları

Şekil 3.48 Gaziantep Stadı PV Sistem Enerji Bilançosu

## **TABLO LİSTESİ**

Tablo 2.1 Türkiye’de 2017 Yılındaki Elektrik Üretimini Kaynaklara Göre Dağılımı

Tablo 2.2 Fotovoltaik Piyasası Ve Kurulum Kapasiteleri

Tablo 2.3 Türkiye Aylık Ortalama Güneş Enerji Potansiyeli Ve Güneşlenme Süreleri

Tablo 2.4 Bölgelere göre güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süreleri

Tablo 2.5 Fosil Yakıtların Yanması Sonucu Ortaya Çıkan Maddeler Ve Çevreye Etkileri

Tablo 2.6 Fotovoltaik Hücre Teknolojilerinin Sınıflandırılması

Tablo 3.1 Canadian DYMOND CS6X 325P-FG model, 325 W Panel Karakteristik Özellikleri

Tablo 3.2 ABB TRIO-50.0-TL-OUTD Model, 50kw’lık Eviricinin Karakteristik Özellikleri

Tablo 3.3 Aylara Göre Optimum Panel Açısı

Tablo 4.1 Mersin ve Gaziantep Stadyumlarına Ait Ekonomik Analiz.

Tablo 4.2 Alanya Stadı’na Ait Ekonomik Analiz.

Tablo 4.3 Türkiye’de Bulunan Bazı Stadyumların Fotovoltaik Sisteme Uygunluğu

# **1.GİRİŞ VE AMAÇ**

## **1.1. Giriş**

Dünya’da enerji tüketimi düzenli olarak artmakta ve ihtiyaç duyulan enerji çoğunlukla fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve en önemlisi çevreye verdikleri zararlar dikkate alındığında, enerji üretimi için alternatif yöntemlerin arayışı zorunlu hale gelmiştir. Bu noktada; doğal süreçte var olmaları, sürdürülebilir olmaları ve ham madde ihtiyacı olmaması çevre dostu yenilenebilir enerjinin önemini arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, biokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla kurulan güç sistemleri, alan olarak geniş yer kapladıkları için genellikle şehir merkezlerinden uzak bölgelere kurulmaktadır.

Stadyumların yerleşim alanlarına yakınlığı, açık alan olarak görülmesi ve şehir merkezinde büyük bir alan kaplıyor oluşu, bu alanlarda kurulabilecek bir sistemi oldukça önemli kılmaktadır. Şehir merkezinde olduğu halde enerji üretiminde herhangi bir rolü olmayan bu alanlara aslında atık alan demek doğru bir ifade olacaktır. Müsabaka zamanları haricinde kullanılmayan stadyumların çatılarına kurulabilecek bir sistem, şebekeye enerji temin edebilmesi ile önemli bir avantaj sunacaktır.

Ülkemizde enerji kaynaklarında ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına yönelik yapılan yasal düzenlemeler çerçevesinde, gerçek veya tüzel kişilere kendi enerjilerini üretebilme hakkı tanınmaktadır. 2013 yılında resmi gazetede yayınlanan 6.446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu 14. Maddesi’nde lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf faaliyetler arasında bulunan kurulu gücü azami 1 MW’lık yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurulmasına onay vermektedir. Böylece kendi enerjilerini üretme hakkına sahip gerçek veya tüzel kişiler, bu kapsamda herhangi bir lisans alma veya farklı bir şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulmaktadır.

## **1.2 Amaç**

Bu tez çalışmasının amacı; güneş enerjisi potansiyeli bakımından zengin olan ve hemen her şehirde büyük futbol stadyumları gibi spor alanları bulunduran ülkemizin, atıl olan

bu alanlarını değerlendirerek, güneş enerji sistemleri kurulmasını sağlamak ve enerji ihtiyacına çevre dostu çözümler geliştirilerek, hem ekonomik fayda hem de toplumsal farkındalığa katkı sağlamaktır.

Bu çalışmada, ülkemizde mevcut olan güneş potansiyeli yüksek ve yzeyssel olarak çatı uygulamasına uygun Alanya Stadyumu, Mersin Stadyumu ve Gaziantep Stadyumu ele alınmıştır. İncelenen stadyumların her birinin fotovoltaik güç sistemlerinin entegresi için gerekli teknik analizler yapılarak, sistemlerin şebekeye bağlı olarak kullanılmasının maliyet analizi yapılmıştır.

Çalışmada teknik ve ekonomik analiz için uluslararası çalışmalarda tercih edilen Pvsol ve Pvsyst adlı simülasyon programları kullanılmıştır. Bu kapsamda kullanılan simülasyon sonuçları sunulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde giriş ve tezin amacı, ikinci bölümde genel bilgiler başlığı altında konu ile ilgili Dünya ve Türkiye literatürü ile enerji kaynaklarına dair bilgiler paylaşılıp, güneş enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. nc bölümde tez içeriğinde kullanılan materyal ve yöntemlerle ilgili detaylı bilgiler verilip, teknik analizler yapılmıştır. Dördüncü bölümde üçüncü bölümdeki bulgular değerlendirilip, sistemlerin ekonomik analizleri yapılmış ve elde edilen tüm verilere göre karşılaştırma yapılmıştır. Beşinci ve son bölümde ise tüm çalışmanın genel bir değerlendirmesi olup, çalışma hakkında sonuç ve öneriler sunulmuştur.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Literatür

Freiburg FC takımının stadı “Mage Solar Stadyumu” Dünya’da yeşil enerji üreten ilk stadyum olma özelliğini göstermektedir. 1953’te inşa edilen stadyumun çatısına 1993’te yerleştirilen paneller 2.200 m<sup>2</sup>’lik alanı kaplamaktadır. Yılda 250.000 kWh’lik üretim yapan stadyum kendi enerjisini bu tesisten sağlamaktadır [1,2]. San Francisco Giants beyzbol takımının ev sahipliği yaptığı AT&T Park, 2007 yılında Beyzbol Mayor Ligi’ndeki ilk güneş enerjisi tesisi barındıran stadyumdur. Stadyum dışında 590 panelle kurulan sistemin gücü 120 kW’tır [3].



Şekil 2.1 Mage Solar Stadyumu[4].

2011 yılında Chao-Shun Chen ve arkadaşları, küçük bir adanın enerji talebinde fotovoltaik bir üretim sisteminin ada talebine etkisini gerekli simülasyonlarla incelemiş ve bu sistemin mali analizini yaptıklarında ise sistemin 7,5 yıl gibi bir sürede kendisini amorti ettiğini, 690 kWp gücüne eriştiğini ve yıllık 1.178 MWh’lik bir üretim gerçekleştireceğini ifade etmişlerdir. Bu sebeple Kiribati’deki National Main Stadyumu’na bu sistemin kurulması gerektiğini savundular [4]. Benzer bir çalışma yapan Sourav Barua ve arkadaşları, Bangladeş’in 6 farklı bölgesindeki 11 stadyum için fotovoltaik sistem kurmanın ileride beklenen enerji krizinde önemli bir çözüm olacağını belirtmişlerdir [5].

Tayvan'ın Koahsiung kentindeki Main Stadium, 8.844 panelle kurulmuş 1.027 kWp kapasiteli, yıllık 1,37 GWh'lik enerji üreten ve bu sayede 660 ton  $CO_2$  gazı emisyonunun atmosfere katılmasını engelleyen bir üretim tesisidir. Chia-Hung Lin ve arkadaşları bu üretim tesisinin 2011 yılında ekonomik analizini yapmış ve tesisin 15,5 yılda kendini amorti ettiğini ve tesisin diğer üretim yöntemleriyle rekabetçi olabileceği sonucuna varmışlardır [7][8].



Şekil 2.2 Koahsiung Main Stadyumu[9].

Süper Bowl 50'ye ev sahipliği yapan Levi's Stadyumu 375 kWh'lik kurulu güce sahiptir. Yıl boyunca, ev sahipliği yaptığı maçlardaki enerji ihtiyacının daha fazlasını üretmektedir [10]. Yaklaşık 1.150 panel kullanılarak kurulan bu tesis, park alanındaki 6 şarj istasyonu ile aynı anda 12 araç şarj edebilmektedir. San Francisco 49ers takımına ait olan bu stadyum Amerika Ulusal Futbol Ligi'ndeki, LEED yani Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik sertifikasını Gold seviyesinde kazanan ilk profesyonel futbol stadyumudur [11]. Mineirao Futbol Stadyumu ise Brezilya'nın ilk, Dünya'nın ikinci LEED sertifikasına platinyum seviyesinden sahip, 2014 FİFA Dünya Kupası ve Rio 2016 Olimpiyatları gibi Dünyaca ünlü birçok organizasyona ev sahipliği yapmış bir stadyumdur. 2013 yılında yenilenen stadyumun çatısının %70'lik bölümü olan 11.530 m<sup>2</sup>'lik alana 5.910 adet polikristal silikon panel ve 88 inverter yerleştirilerek 1,42 kWp kapasiteli bir üretim tesisi kurulmuştur [12].



**Şekil 2.3** Levi's Stadyumu (soldaki), Mineirao Futbol Stadyumu (sağdaki) [13].

2010 yılında Almanya'nın Rostock şehrinde bulunan stadyuma, 700 kWh gücünde bir güneş enerjisi sistemi kurulmuş olup, şebekeyi besleyen bu sistem yenilenebilir enerji desteklerinden yararlanmaktadır. Sistemin kurulmasında daha hafif olduğu için mikromorf paneller tercih edilmiştir [14]. Seattle Seahawks'ın stadı olan Centurylink Field, 3.750 ince film panellerle çatının %80'inin kaplayacak şekilde bir tesise sahiptir. Yılda 830000 kWh'ten fazla enerji üreten tesis 95 evin yıllık elektrik enerjisini karşılayabilecek büyüklüktedir. Tesisin kurulumuyla birlikte işletme masraflarında %21'lik bir düşüş söz konusu olmuştur. Ayrıca tesis karbon emisyonunu yılda 1.350 ton kadar düşürerek çevreye de katkı sağlamaktadır [15].

2011 yılında yenilenen İsviçre'nin Bern kentinde bulunan Stade de Suisse'de 7.930 modül kullanılarak oluşturulan güç sistemi 1.346 kWh'lik enerji üretmektedir. Bütün elektrik ihtiyacını bu sistemden kullanan stadyum, yıllık 630 ton karbondioksit gazı emisyonunun atmosfere salınmasını engellemektedir [16]. İngiltere'de bulunan Wembley Stadyumu da gereken tüm enerjisini güneş panelleri sayesinde karşılamaktadır. 2007-2014 yılları arasında karbon emisyonunu %30'a kadar azaltmıştır [17].



**Şekil 2.4** Stade de Suisse (soldaki), Wembley Stadyumu (sağdaki) [18].

Fransa’da bulunan Allianz Riviera’da 7.000 m<sup>2</sup>’lik bir alanda güneş panelleriyle üretim yapılmakta ve 2020 yılına kadar 25.110 MWh’lik üretim hedeflenmektedir [19]. Downtown Oakland Practice Facility ise, 537 panelden oluşan bir tesise sahiptir. Bu tesisle 25 yılda 2 milyon dolar tasarruf edileceği tahmin edilmektedir [20].

5.600 güneş paneli kullanılarak kurulan 1.400 kW kapasiteli Türkiye’deki Antalya Stadyumu ilk 10 yıl %92 verimle çalışacaktır. 30 yıllık ömrü olan tesis, zamanla %80 verime kadar düşecektir. Takribi 500 konutun elektrik enerji ihtiyacını karşılayacak tesis, ürettiği enerjiyi doğrudan şebekeye vermektedir [21]. Philadelphia’da bulunan Lincoln Financial Field Stadyumu’nda 11000’den fazla güneş paneli ve 14 rüzgâr türbiniyle bir güç sistemi kurulmuştur. Toplamda 3 MW’lık üretim yapabilen tesiste paneller sadece çatıya değil duvarlara da monte edilmiştir. Bir yılda üretilen enerji, bir sezon boyunca ev sahipliği yapılan maçlarda ihtiyaç duyulan enerjinin dört katından fazladır. Üretilen fazla enerji satılarak gelir elde edilmektedir [22].



**Şekil 2.5** Antalya Stadyumu[23].

Amerikan futbolu takımı olan New England Patriots’a ait Gillette Stadyumu’nda, Kraft Group 2010 yılında 525 kW’lık bir sistem kurmuştur. Bu sistem 2015 yılında ortağı NRG ile stadyum dışındaki yürüyüş yollarının üst kısmı, dükkan ve restoranların üzerleri ve stadyumun yanındaki kompleks üzerine yaklaşık 3.000 ilave panelle sistem kurularak genişletilmiştir. Yaklaşık 120 dönüme sahip olan ve 2008 yılında açılan stadyum, etrafıyla birlikte geniş bir alışveriş ve yaşam merkezi haline gelmiştir[24].

Toplamda 1,1 MW'lık kurulu güce sahip olan Gillette Stadyumu, yıllık 2.822.978 kWh'lik enerji üretir. Üretilen bu enerji Patriot Place de denilen bu alanın enerji ihtiyacının %60'ını karşılamaktadır. Kurulan tesis yılda 800 ton karbon emisyonunu azaltırken, 20.914 kişinin çevreyi kirletmesi kadar miktarda çevre kirliliğinden korumaktadır [24]. Washington DC şehrinin en büyük tesisi unvanını taşıyan FedEx Field, bünyesinde 8.000'den fazla panel barındırmaktadır. 7.500 panel park alanında, 525 panel stadyum çatısında ve 188 panel ise açılı bir şekilde duvarlarda olup, mimari açıdan da böyle bir tesis kurmanın ne kadar uygun olduğunun bir göstergesidir. Stadyumun oyun günlerinde ve diğer günlerde ihtiyacı olan toplam enerjinin %20'si kurulu tesis tarafından karşılanmaktadır. Üretilen enerji 300 evin elektrik enerji ihtiyacına denktir [25]. Oyun günlerinde harcanan enerjinin ise 2,5 katı kadar enerji üretilmektedir [26]. 2 MW'lık kurulu güce sahip olan tesisin 10 elektrikli araçlar için şarj istasyonu bulunmaktadır [27].



**Şekil 2.6** FedEx Field[28].

Chase Field Stadyumu'nda Kurulu olan 75 kW gücündeki sistem Arizona Diamondbacks'li taraftarlar için gölgelik olacak şekilde tasarlanmıştır [29].

Busch Stadyumu 106 panelle kurulmuş bir tesistir. Yıllık 32.000 kWh enerji üreten tesis 2012 yılında kurulmuştur. St Louis Cardinals ekibine ait stadyumda, şebeke bağlantısız ve bataryasız bir sistem ürettiğini anında kullanarak faturaların düşmesi için tasarlanmış bir sistemdir [30].

Seattle kentinde bulunan Safeco Stadyumu, kurulu gücü 32,76 kW olan bir sisteme sahiptir. Yıllık 400.000 kWh'lik enerji üreten tesis karbon emisyonunu da düşürmektedir [31]. New York Giants & Jets takımına ait olan MetLife Stadyumu, 1.350 panelle kurulu 3.505 kW'lık bir sistemle enerji üretmektedir [32]. Cleveland Indians ekibinin ev sahibi olduğu Progressive Field Stadyumu ise 42 panelle oluşturulmuş ve kurulu gücü 8,4 kW olan tesisle stadyumdaki 400 adet televizyonu çalıştırabilmektedir [33]. Arrowhead Stadyumu 308 panelle kurulmuş, yıllık 29.000 kWh enerji üreten ve ürettiği enerji takriben 8 evin yıllık enerjisini karşılayan bir stadyumdur [34]. Indianapolis Motor Speedway 39.312 panelle kurulmuş bir sistemdir. Sistemin kurulu gücü 9 MW'tır [35].

Colorado Rockies beyzbol ekibinin 46 panel ve 9,89 kW kurulu güce sahip olan stadi Coors Field, yılda 14.000 kWh'lik enerji üretimi gerçekleştirmektedir. Beyzbol sahaları içinde güneş enerji sisteminin kullanan ilk stadyumlardan birisidir [36].

Los Angeles Lakers takımı tarafından kullanılan Staples Center, çatısında 1.727 panel taşımaktadır. 2008'de 166 kW olan sistemin gücü günümüzde 364 kW kadardır. Enerji harcamalarında yıllık \$280.000 kadar düşüş beklenmektedir. Tesis yılda 10.000 ton  $CO_2$  emisyonu sağlarken, 27 tondan fazla  $SO_2$ , 33 tondan fazla  $NO_2$  emisyonu sağlar. Bu tesis çevreye yaklaşık 688 dönüm olgun ağacın sağladığı katkıyı sağlamaktadır [37].

Rio Tinto Stadyumu 2.020 kW'lık kurulu güce sahiptir. Yıllık gereken enerjinin %73'ünü tesisden karşılayan stadyumda 315 W'lık 6.423 adet panel bulunmaktadır. Bu panellerin %95'i park alanına yerleştirilmiştir [38]. US Airways Center, otopark üzerinde 966 panelle oluşturulmuş kurulu gücü 227 kW olan bir tesise sahiptir. Yıllık 378.000 kWh'lik enerji üretmektedir. Bu enerji 20 maç gününde kullanılan enerjiyi karşılamaktadır [39].



Şekil 2.7 US Airways Center[40].

New York Jets antrenman merkezi Yingli marka 3.000 panelle kurulmuştur. Yıllık 750.000 kWh enerji üretmektedir. 540 tonluk  $CO_2$  emisyonu sağlayan sistem 100 arabayı trafikten almakla eşdeğerdir [41].

Sonoma Raceway 1.700 civarı panelle ihtiyacının %41'ini sağlamaktadır. 350 kW kurulu güce sahip olan tesis, çift tarafı da tamamen solar filmle kaplı skor tabelası bulundurmaktadır [42].

Houston Texans'ın stadı NRG Stadyumu 600 panelle kurulan 180 kW gücünde bir güç sistemine sahiptir [43]. Ayrıca 94 aracın park edebileceği alanın üzerine kurulan sistem 882 panelden oluşmaktadır. 220 kW kurulu güce sahip olan stadyum yıl boyunca oyun günlerinde kullanılan enerjinin tamamını karşılamaktadır [44]. Nascar's Pocono Raceway, 2010 yılında 40.000 modülle kurulan tesis 3 MW büyüklüğünde olup 20 yılda 72.000.000 kWh'ten fazla enerji üretmesi beklenmektedir. 300 eve yakın evin ihtiyacına yakın enerji üretir. 2300 ton karbondioksit emisyonu sağlamaktadır [45].

## 2.2 Enerji Kaynakları

Enerji tüketimi; nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, sanayileşme gibi sebeplerle sürekli artış göstermektedir. Konvansiyonel enerji kaynaklarının sınırlı olması ve enerji üretiminin büyük bir kısmında kullanılıyor olması, bu kaynakların enerji talebiyle ters orantılı olarak sürekli azalacağı bir gerçektir.

Türkiye’de 2017 yılında brüt elektrik enerjisi tüketimi 2016 yılına göre %5,6 artarak 294,9 milyar kWh, üretim ise %7,7 artarak 295,5 milyar kWh olmuştur. 2017 yıl sonu itibariyle kurulu güç 85.200 MW olmuştur. Kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı; %32’si hidrolik enerji, %27,2’si doğal gaz, %21,9’u kömür, %7,6’sı rüzgâr, %4’ü güneş, %1,2’si jeotermal ve %5,9’u ise diğer kaynaklar şeklindedir. 2017 yılında elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Tablo 2.1’de verilmiştir [46].

**Tablo 2.1** Türkiye’de 2017 Yılındaki Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı

Kaynak	Oran
Doğalgaz	%37
Kömür	%33
Hidrolik	%20
Rüzgâr	%6
Jeotermal	%2
Diğer	%2

Enerji kaynaklarını konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki grupta inceleyebiliriz.

### **2.2.1. Konvansiyonel enerji kaynakları**

Konvansiyonel enerji kaynaklarına yenilenemeyen enerji kaynakları da denir. Nükleer enerji ile fosil kökenli petrol, kömür ve doğalgaz yenilenemeyen enerji kaynaklarına örnektir. Kullanılan enerjinin büyük bir bölümü bu kaynaklarla elde edilir.

Dünyada elektrik üretiminin yaklaşık %75’i fosil yakıtlardan elde edilirken, Türkiye’de bu oran ortalama %67’dir [47].

Petrol; karbon ve hidrojenden oluşur. İçerisinde kükürt, oksijen ve hidrojeni de az miktarda barındırır. Kullanım alanı çok geniştir.

Doğalgazın ana bileşeni metandır. Gaz halindeki petrol olarak da anılan doğalgaz genellikle yeraltındaki rezervlerden elde edilir.

Kömür ise katı bir fosil yakıttır. Karbon, azot, oksijen ve hidrojenden oluşur.

Dünya linyit rezervlerinin ortalama %1,6'sı Türkiye'de bulunmaktadır [48].

Nükleer enerji; atom çekirdeğinin parçalanması ve fisyon-füzyon tepkimeleriyle açığa enerji çıkarmasıyla elde edilir.

### **2.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları**

Yenilenebilir enerji kaynakları; sürdürülebilir, doğal süreçte var olan ve çevreye zarar vermeyen enerji kaynaklarıdır. Yeşil enerji olarak da adlandırılırlar.

Doğada belli bir rezervleri olmadığından sürdürülebilir kaynaklardır. Üretimde sera gazı etkisine yol açmadığı için ise çevre dostu bir enerji kaynağıdır.

Rüzgârlar hava hareketiyle oluşur. Hava sıcaklığının, nemin ve basıncın farklı olması hava hareketlerini meydana getirir. Hareket halindeki hava türbinler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Türbinler, yatay eksenli ve düşey eksenli olarak ikiye ayrılır.

Jeotermal enerji yerin derinliklerinde biriken ısı ve akışkanların yeryüzüne ulaştırılması sonucu elde edilen enerjidir.

Hidrolik enerji; akan suyun kinetik enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi elde edilmesiyle oluşur. Akan su türbinlere iletilir ve türbinlerin dönmesi sağlanır. Böylece buradaki mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür.

Biokütle enerjisi, fotosentez sonucunda enerji üretilmesiyle elde edilir.

#### **2.2.2.1 Güneş enerjisi**

Güneş çok büyük ve önemli bir enerji kaynağıdır. Güneşin %70'ini hidrojen, %27'sini helyum ve geriye kalan %3'ünü ise yaklaşık 90 farklı element oluşturur. 4,5 milyar yaşında olan güneşin 5 milyar yıllık ömrü kaldığı düşünülmektedir. Güneşin çapı  $R=1,39 \times 10^6$  km'dir. Güneş enerjisinin Dünya'ya ulaşan kısmı yıllık olarak  $1,5 \times 10^{18}$  kWh'lik bir enerjidir. Dünya'nın güneşe uzaklığı ortalama  $14,9 \times 10^7$  km'dir [47].

### 2.2.2.1.1 Dünya’da güneş enerjisi

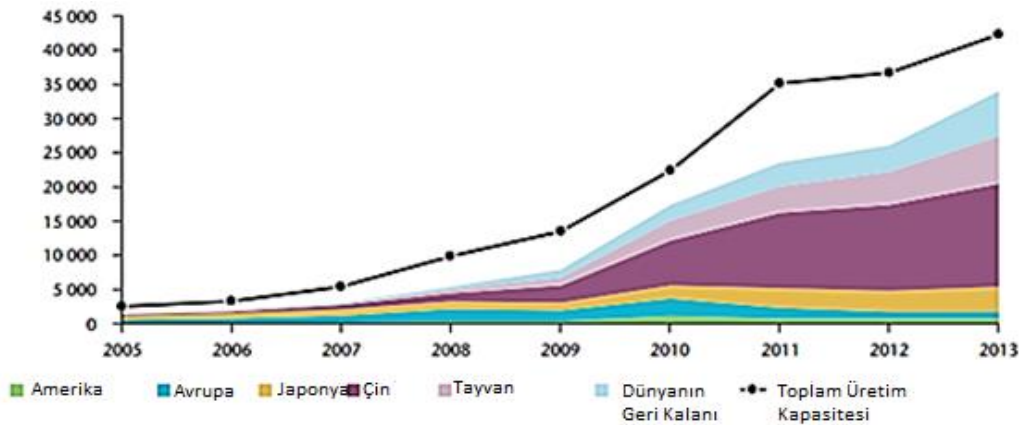
Dünya’da Güneş enerjisi kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Devletler enerji politikalarını oluştururken artan enerji ihtiyacını ve kullanılabilir kaynakları göz önünde bulundurmaktadırlar. Yenilenebilir enerjinin sürekli ve bedelsiz kaynağa sahip olması ve çevre dostu olması bu enerji çeşidinin değerini arttırmakta, bu durumda yenilenebilir enerji pazarının artışına sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımında birçok devlet, teşvik politikaları uygulayarak kullanımın yaygınlaşması için adımlar atmaktadır.

Tablo 2.2’de 2016 yıl sonu ve 2017 yıl sonu değerleri dikkate alınarak fotovoltaik piyasası ve kurulumundaki gelişmeler sayısal olarak ifade edilmiştir.

**Tablo 2.2** Küresel Yenilenebilir Enerji Piyasası ve Kurulum Kapasiteleri [49].

	2016 yılsonu	2017 yılsonu
Toplam Kurulu Kapasite		
Güneş Enerjisi	303GW	402GW
Konsantre Güneş Enerjisi	4,8GW	4,9GW
Rüzgâr Enerjisi	487GW	539GW
Jeotermal Enerji	12,1GW	12,8GW
Yıllık Yatırım	274milyarUSD	279.8milyarUSD

Şekil 2.9’da ülkelere göre fotovoltaik modül üretim adetleri verilmiştir. En fazla üretimin Çin’de yapıldığı görülmektedir.



**Şekil 2.9** Ülkelere Göre Yıllık Fotovoltaik Modül Üretim Adetleri[49].

### 2.2.2.1.2 Türkiye’de güneş enerjisi

Türkiye, Güneş enerjisi potansiyeli açısından zengin bir ülkedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün 1966-1982 yılları arasında yapmış olduğu ölçümlerden yararlanarak, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü’nün yapmış olduğu çalışmalara göre Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.640 saattir. Tablo 2.3’te Türkiye’nin aylık ortalama güneşlenme süresi ve ortalama aylık güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir [50].

**Tablo 2.3** Türkiye Aylık Ortalama Güneş Enerji Potansiyeli Ve Güneşlenme Süreleri[50].

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Türkiye’de Güneş enerji potansiyeli dikkate alındığında en zengin bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi’dir. Bölgelere göre Güneş enerji potansiyeli dağılımı Tablo 2.4’te verilmiştir [50].

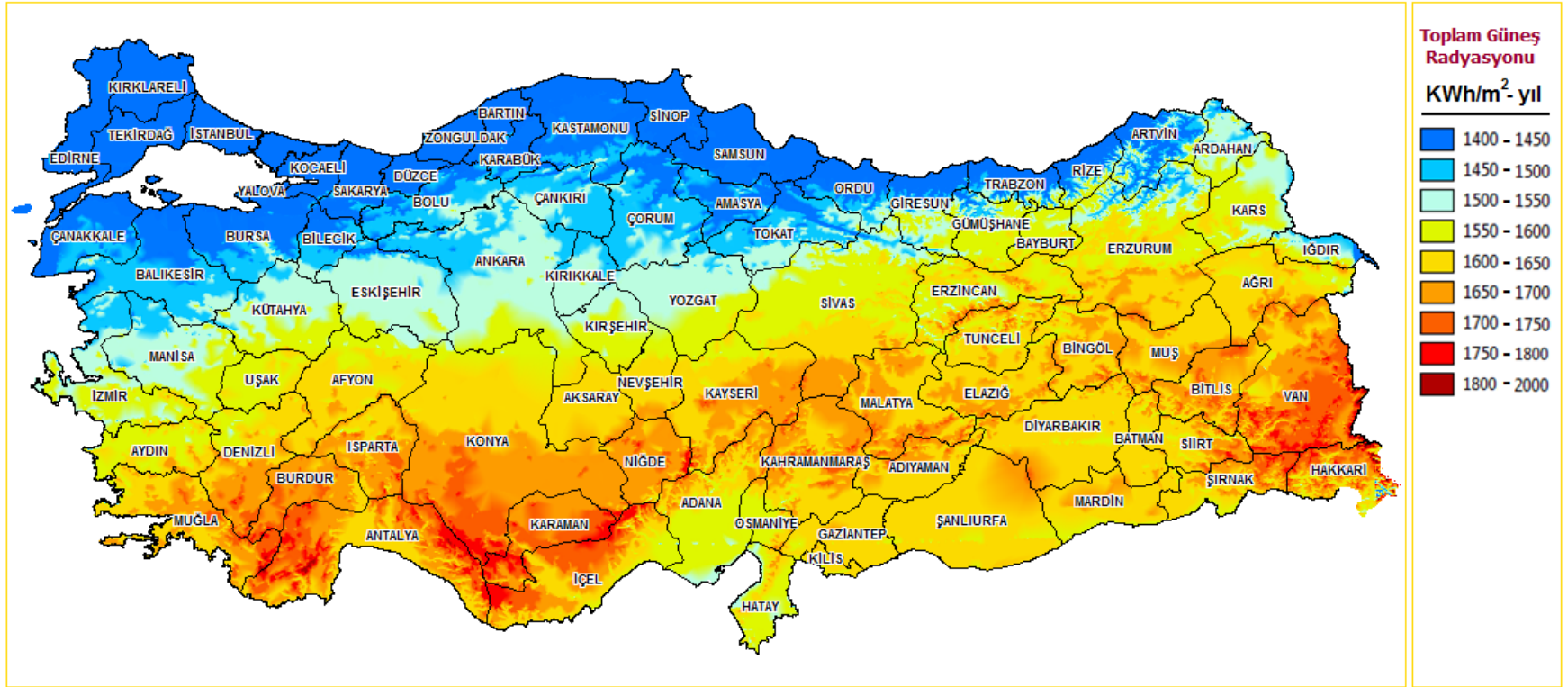
Bu değerler eski yıllara dayandığı için daha sonra yapılan çalışmalarda Güneş enerji potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla olduğu beklenmektedir [50].

Şekil 2.10'da Türkiye'nin Güneş enerji atlası görülmektedir. Haritada özellikle Güneydoğu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi'ndeki Güneş enerji potansiyelinin fazlalığı dikkat çekmektedir.

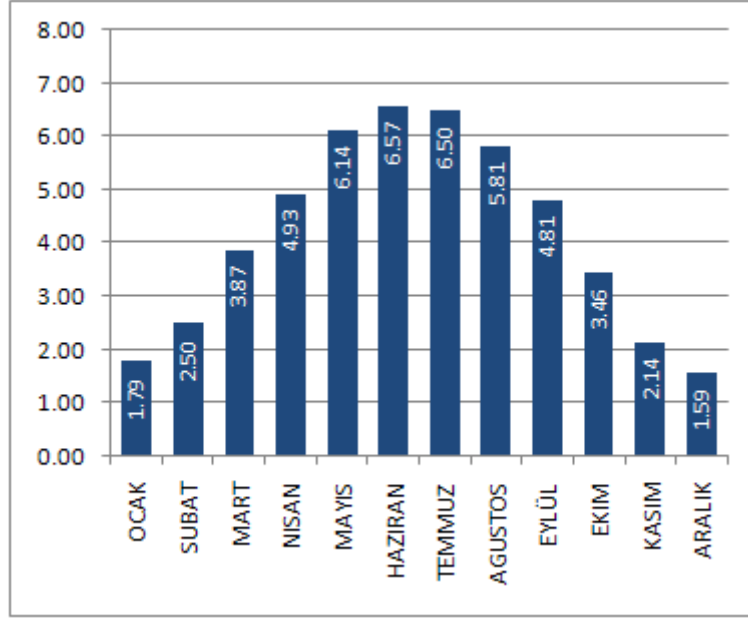
Şekil 2.11 ve Şekil 2.12 incelendiğinde Türkiye'nin aylara göre radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir.

**Tablo 2.4** Bölgelere göre güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süreleri[50].

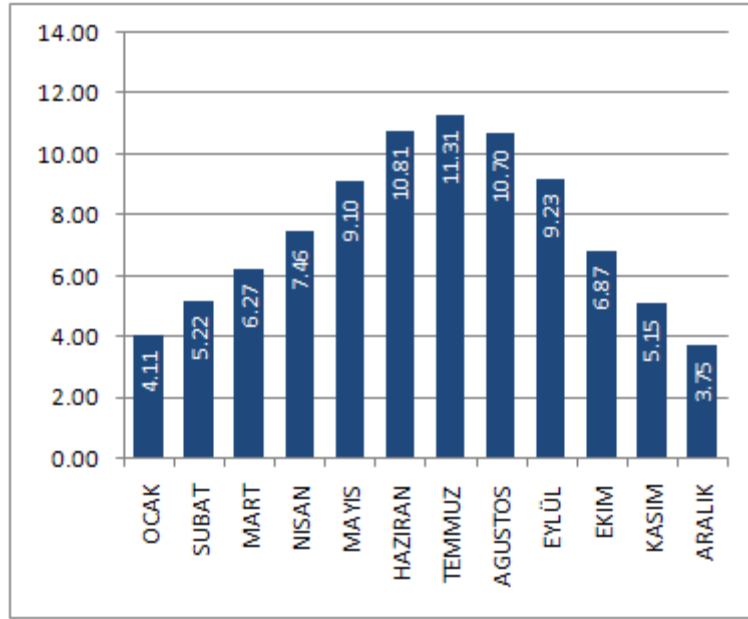
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (Kwh/m <sup>2</sup> -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
G.Doğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971



Şekil 2.10 Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası [52].



Şekil 2.11 Türkiye Global Radyasyon Değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün)[52].



Şekil 2.12 Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat)[52].

### 2.2.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları ve çevre

1994 yılında 194 ülkenin katılımıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, iklim sorununa küresel çözümler bulabilmek amacıyla ilk olarak 1992 yılında Rio'da toplanmıştır. Evrensel boyutta olan bu sözleşmenin tarafları 1995 yılından itibaren her yıl toplanarak alınabilecek önlemler üzerinde değerlendirmeler yapmaktadır. Sözleşmenin asıl amacı atmosferdeki sera gazı etkisinin azaltılması ve bu salınımın iklim değişikliğine etkisini en aza indirmektir. Bu noktada fosil yakıtlarla elektrik üretilmesinin çevreye olan zararları dikkate alındığında, yenilenebilir enerjinin doğa için ne kadar önemli olduğu bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Fosil yakıtlardan elektrik üretiminde yanma sonrasında ortaya çıkan maddeler Tablo 2.5'te zararlarıyla birlikte verilmiştir [47].

Bu zararları ortadan kaldırmak ya da mümkün olan en aza indirebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretimde önemli adımlar atılmalıdır.

**Tablo 2.5** Fosil Yakıtların Yanması Sonucu Ortaya Çıkan Maddeler ve Çevreye Etkileri

CO <sub>2</sub> (karbon dioksit)	Sera gazıdır ve atmosfere etkisi yüksektir. Küresel ısınmaya yol açar.
SO <sub>2</sub> (kükürt dioksit)	Asit yağmurlarına neden olur.
NO <sub>x</sub> (azot oksitler)	Ozon oluşumunda etkilidir.
Katı Maddeler	Hava kirliliğini arttırır.
Cıva vb. Ağır Metaller	İnsan ve hayvan sağlığını olumsuz etkiler.

### 2.3. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler, paneller yardımıyla Güneş'ten aldıkları ışınları elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler birçok bileşenden oluşur. Bunlar; fotovoltaik hücre, fotovoltaik modül, evirici, taşıyıcı ayaklar, akü, şarj regülatörü ve kablolardır. Fotovoltaik sistemler şebekeyle bağlantılı, şebekeden bağımsız ya da ikisinin birleşimi olan karma sistemlerden oluşabilir.

## 2.3.1. Fotovoltaik sistem bileşenleri

### 2.3.1.1. Fotovoltaik hücre

Fotovoltaik hücreler yarı iletken yapıda olup, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemin en küçük yapıtaşdır.

Fotovoltaik hücrelerin karakteristiğini belirleyen faktörler; açık devre gerilimi( $V_{OC}$ ), kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ), maksimum güç değeri ( $P_{MP}$ ), akım-sıcaklık katsayısı ( $K_I$ ), gerilim sıcaklık katsayısıdır ( $K_V$ ) [53].

Fotovoltaik hücreler içinde kullanılan diyot sayısına göre tek diyotlu ve çift diyotlu olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Ayrıca üretim sürecindeki gelişimine göre birinci, ikinci ve üçüncü nesil fotovoltaik hücreler olarak gruplandırılabilirler.

#### 2.3.1.1.1. Tek diyotlu hücreler

Tek diyotlu hücreler, fotovoltaik hücrelerin en basite indirgenmiş halidir. Akım- gerilim arasındaki ilişki görülmekte ancak bu ölçümün hassasiyeti düşük olmaktadır.

- $R_s$  model tek diyotlu hücreler:

Formül 2.1’de gerilim ve akım arasındaki ilişki görülmektedir[53].

Şekil 2.13’de  $R_s$  model tek diyotlu hücrenin modeli görülmektedir.

Formül 2.1’de verilen akım değeri hücrenin çıkış akımıdır. Burada

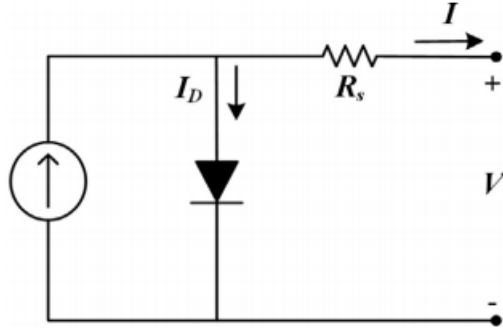
k: Boltzmann sabitidir, değeri 1,3806531023 J/K

a: Diyotun kalite faktörü

T: Kelvin değerinden sıcaklık

q: mutlak elektron yükü, değeri 1,602176461019 C

$$I = I_{PV} - I_0 * [(exp^{(q*(V+I*R_s)/akT)} - 1)] \quad (2.1)$$



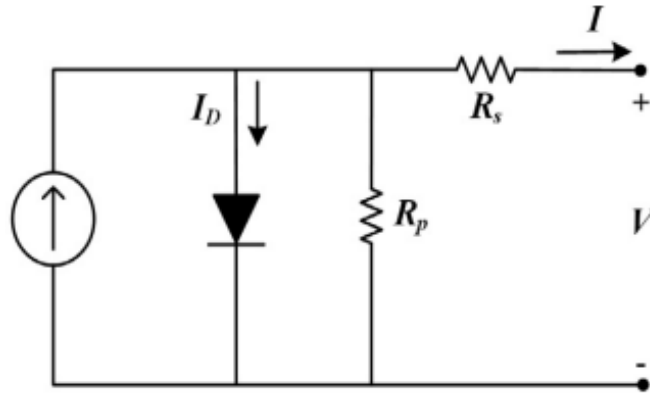
Şekil 2.13:  $R_s$  Model Tek Diyotlu Hücresinin Modeli[53].

- $R_p$  model tek diyotlu hücreler:

Formül 2.2’de gerilim ve akım arasındaki ilişki görülmektedir[53].

Şekil 2.14’de  $R_p$  model tek diyotlu hücresinin modeli görülmektedir.

$$I = I_{PV} - I_0 \left[ \left( \exp\left(\frac{q(V + I R_s)}{kT}\right) - 1 \right) - \frac{(V + I R_s)}{R_p} \right] \quad (2.2)$$



Şekil 2.14  $R_p$  Model Tek Diyotlu Hücresinin Modeli[53].

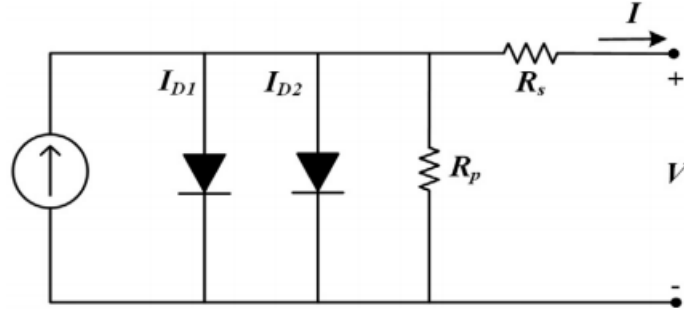
### 2.3.1.1.2. Çift diyotlu hücreler

Çift diyotlu hücreler, tek diyotlu hücrelere bir diyot daha ekleyerek oluşturulur. Bu sayede akım-gerilim arasındaki ilişki hassas biçimde belirlenmiş olur.

Formül 2.3’te gerilim ve akım arasındaki ilişki görülmektedir[53].

Şekil 2.15’te çift diyotlu hücresinin modeli görülmektedir.

$$I = I_{PV} - I_{01} \left[ \left( \exp\left(\frac{q(V + I R_s)}{a_1 kT}\right) - 1 \right) - \frac{(V + I R_s)}{R_p} \right] - I_{02} \left[ \left( \exp\left(\frac{q(V + I R_s)}{a_2 kT}\right) - 1 \right) - \frac{(V + I R_s)}{R_p} \right] \quad (2.3)$$



**Şekil 2.15** Çift Diyotlu Hücrenin Modeli [53].

Fotovoltaik hücre teknolojileri Tablo 2.6’da görüldüğü üzere üç alt grupta incelenmektedir.

**Tablo 2.6** Fotovoltaik Hücre Teknolojilerinin Sınıflandırılması[54].

Fotovoltaik hücreler	1.nesil hücreler	fotovoltaik 2.nesil hücreler	fotovoltaik 3.nesil hücreler
	Kristal Hücreler	Silikon	İnce Film Hücreler
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monokristalin</li> <li>• Polikristalin</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amorf Silisyum</li> <li>• Kadmiyum Tellür</li> <li>• Bakır İndiyum Selenür</li> <li>• Bakır İndiyum Galyum Diselenür</li> </ul>
			Odaklaştıcı Hücreler
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galyum Arsenür</li> <li>• İndiyum Galyum Arsenür</li> </ul>
			Boyarmaddeli Hücreler
			Organik Hücreler
			Yeni Geliştirilen Nano Hücreler

### **2.3.1.1.3. Birinci nesil fotovoltaik hücreler**

Kristal silisyum yapıda olan bu yarıiletken hücreler, kullanımını Dünya’da en yaygın olan hücre çeşididir. Hücrede kullanılan silisyumun saflık oranına göre monokristalin ve multikristalin (polikristalin) olarak ikiye ayrılır. Monokristalin yapıda olan hücreler, multikristalin yapıdaki hücrelere göre daha yüksek verimlidir ve maliyeti daha yüksektir [53,55].

### **2.3.1.1.4. İkinci nesil fotovoltaik hücreler**

Kristal silisyum yapıda olan birinci nesil hücrelere göre verimleri ve maliyetleri düşüktür. İnce film hücreler olarak da adlandırılır.

### **2.3.1.1.5. Üçüncü nesil fotovoltaik hücreler**

Bu hücreler ar-ge aşamasında olup, üretimleri yapılmış, ancak piyasada yaygın olarak kullanılmamaktadır.

## **2.3.1.2. Fotovoltaik modül**

Fotovoltaik hücrelerin birleşiminden oluşur. Farklı boyutlarda ve farklı güçlerde üretilebilir. Modüller bir araya gelerek dizileri, diziler bir araya gelerek panelleri oluşturur.

## **2.3.1.3. Evirici**

Panellerde üretilen DC akımı AC akıma çevirmek için kullanılır. Bir eviricinin karakteristiği

- Maksimum DC giriş gerilimi
- DC gerilim çalışma aralığı
- DC gerilim giriş MPPT aralığı
- Çıkış gerilimi
- Çıkış frekansı
- Verimi

gibi özelliklerle belirlenir.

DC gerilim çalışma aralığının geniş olması, güneş ışınımının az olduğu ya da çok fazla olduğu zamanlarda da sistemin stabil olarak çalışmasına yardımcı olur.

Çıkış gerilimi ve çıkış frekansı, bağlanılan şebekenin özellikleriyle ya da kullanılan elektrikli aletlerin standart değerleriyle aynı olmak zorundadır.

İdeal bir eviricinin çıkış gerilimi sinüs formundadır ancak piyasada bulunan eviricilerde harmonikler vardır bu durum verimin düşmesinde etkilidir.

#### **2.3.1.4. Taşıyıcı ayaklar**

Taşıyıcı ayaklar, sistemin nerede kurulacağına göre farklılık gösterir. Arazi tipi, çatı uygulaması ve dış cephe gibi farklı uygulamalar için panelleri optimum açıda tutmalıdır ve ortalama sistem ömrü olan 30 yıl boyunca dayanıklılık göstermesi gerekmektedir. Bu taşıyıcı ayaklar uygulamalarda genellikle tek ayaklı ve çift ayaklı olmak üzere imal edilmektedir. Farklı şekilde dizaynları mümkündür. Tek ayaklı uygulamalarda panellerin yatayla olan açıları sistem kurulduktan sonra da değiştirilebilmektedir. Bu durum yaz ve kış aylarındaki ideal açığı edinmede ve bu sayede sistem verimin artmasında yardımcı olmaktadır. Çift ayaklı taşıyıcılara göre dezavantajı ise, dikey ya da yatay olarak konumlandırılmış panel gruplarında daha az paneli taşıyabilecek kapasitede olmasıdır. Başka bir dezavantaj ise deprem bölgelerinde tek ayaklı sistemin çift ayaklı sisteme göre daha dayanıksız olmasıdır.

#### **2.3.1.5. Aküler**

Fotovoltaik sistemlerde bataryaların göstermesi istenilen özellikler; yüksek verim, düşük maliyet, hızlı şarj, uzun çevrim ömrü gibi özelliklerdir.

Genel olarak kurşun asit bataryalar düşük maliyet ve yüksek verimlilikleri sayesinde en çok kullanılan bataryalardır [56].

Özellikle şebekeden bağımsız sistemlerde büyük akü grupları gerekmektedir.

#### **2.3.1.6. Şarj regülatörü**

Şarj regülatörleri bataryanın kontrollü biçimde şarj olmalarına olanak sağlar. Bataryanın şarj durumunu kontrol eder ve buna göre şarj durumunu denetler. Aşırı şarj ve ani deşarjı engeller. Bu sayede bataryanın ömrünü uzatır.

### **2.3.2. Şebeke bağlantılı sistemler**

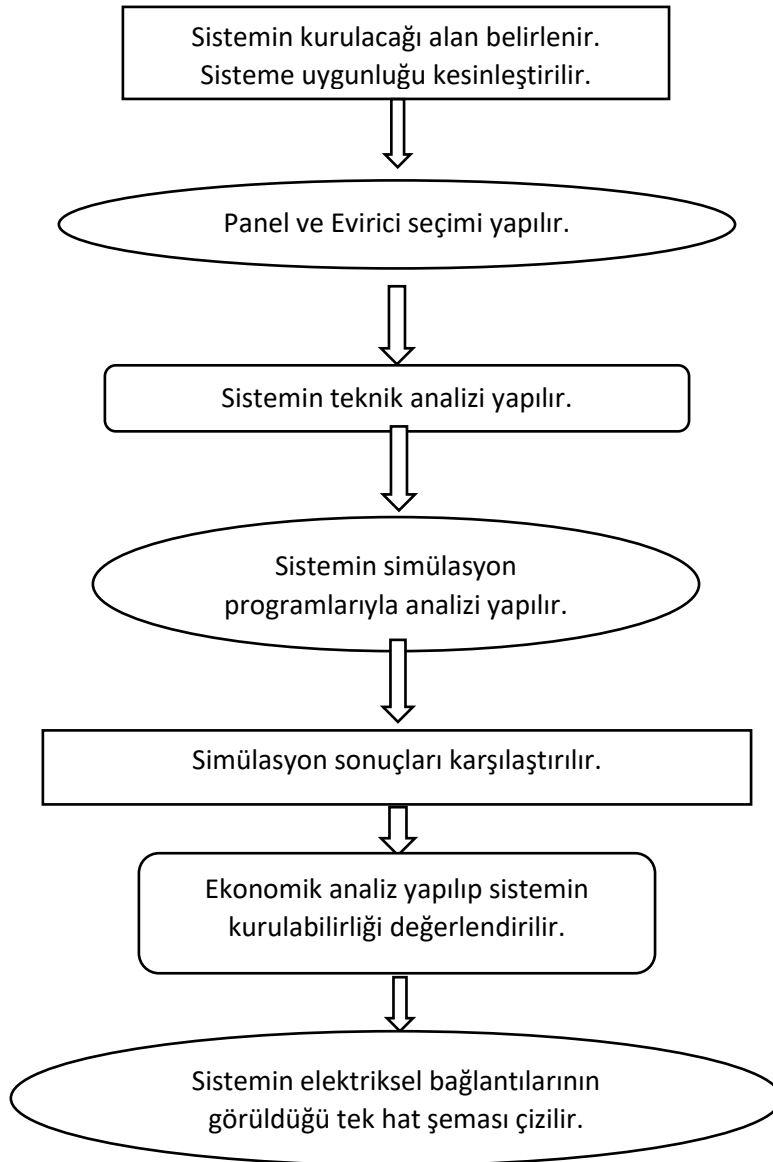
Bir sistemle şebekeyi besleyebilmek için şebekedeki frekans ve gerilim değerlerini o sistemde elde etmek gerekir. Fotovoltaik sistemlerde üretilen DC akım eviriciler yardımıyla AC akıma dönüştürülerek sistemdeki şebekeye iletilebilir. Şebeke bağlantılı sistem kurarken iki alternatif vardır. İlki, üretilen enerji kullanılmadan doğrudan şebekeye verilebilir. İkincisi ise, üretilen enerjinin bir miktarının ya da tamamının kullanılması, enerji yetmediği durumlarda şebekeden enerji sağlama veya enerji fazlasının şebekeye aktarılması şeklindedir. İkinci seçenekte çift yönlü sayaç kullanılır, böylece şebekeden kullanılan ve şebekeye verilen enerji miktarları tespit edilir. Sistemin en önemli avantajı, üretilen enerjinin depolanmasına gerek yoktur. Böylece sisteme ek akü, şarj regülatörü ve bunların bulunması gereken korunaklı alana ihtiyaç duyulmaz.

### **2.3.3. Şebekeden bağımsız sistemler**

Şebekeden bağımsız sistemler genellikle aydınlatma uygulamalarında ve şebekenin var olmadığı yerlerde elektrik ihtiyacını gidermek için kullanılır. Bu sistemlerde enerji ihtiyacı genellikle üretimin olmadığı akşam saatlerinde olur. Gün içerisinde üretilen fazla enerji depolanmalı ve ihtiyaç anında kullanılmak üzere saklanmalıdır. Bu sistemlerin en büyük ihtiyacı bir akü grubudur. Sistemin verimli ve kesintisiz çalışabilmesi için gerekli yük miktarına göre sistem tasarımı doğru yapılmalı ve bu sisteme en uygun akü kapasitesi belirlenmelidir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de üç farklı stadyum için sistem tasarımı ve bu sistemlerin simülasyon programlarıyla analizleri yapılmıştır. Tasarlanan fotovoltaik sistemler, stadyumların buldukları bölgeye bağlı parametreler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Sistemler tasarlanmadan önce kullanılacak panel seçimi öncelikli adımdır. Panel seçimi yapıldıktan sonra sistemin büyüklüğü dikkate alınarak, evirici seçimi yapılır. Özellikle bu iki sistem bileşeni seçildikten sonra coğrafi değerler dikkate alınarak teknik analiz yapılır ve sistem bileşenleri oluşturulur. Materyal ve yöntem bölümünde izlenen adımlar Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Sistem Kurulumunda İzlenecek Adımlar

### **3.1. Fotovoltaik sistemin teknik analizi**

#### **3.1.1. Sistem tasarımı**

Sistem tasarımında izlenecek yol haritası şu şekildedir:

- Kullanılacak panel ve evirici belirlenmeli.
- Panel dizi hesaplamaları yapılmalıdır.
- Mimariye göre panel yerleştirilecek alanlar tespit edilmelidir. Söz konusu alanda kullanılabilen panellerle sistemin kapasite büyüklüğü belirlenir.
- Genel yerleşim yapılırken en uygun panel açısı hesaplanmalıdır.
- Panellerin gölgelenme yaşamaması için panel grupları arasındaki mesafe hesaplanmalıdır.
- Trafo merkezi, dağıtım merkezi gibi kısımlarda kullanılacak malzemeler belirlenmelidir.
- Sistem genelinde kullanılacak kabloların kesit hesaplamaları yapılmalıdır.
- Taşıyıcı ayaklar belirlenmelidir.
- Çatıya uygulanan tüm yük dikkate alınarak çatının yüke göstereceği mukavemet belirlenip, uygunluğu tespit edilmelidir.

##### **3.1.1.1. Panel seçimi**

Bu tez kapsamında hesaplamalar, Canadian marka ve DYMOND CS6X 325P-FG model 325 W'lık güneş panellerinin karakteristik özelliklerine göre yapılmıştır.

Polikristal yapıda olan bu paneller 72 hücreden oluşmaktadır. 27,5 kg ağırlığındaki paneller 1972\*996\*8,5 mm ebatlarındadır. Garanti koşullarına bakıldığında ilk yıl %2,5, takip eden yıllarda %0,5 oranında kayıp olup, 25. yılın sonunda %85,5 verimle ve 30. yılın sonunda ise %83 verimle çalıştığı görülmektedir [57].

Tablo 3.1'de bu panellere ait bazı karakteristik özellikler verilmiştir.

**Tablo 3.1** Canadian DYMOND CS6X 325P-FG model, 325 W Panel Karakteristik Özellikleri[57].

Parametreler	Özellikleri
$P_{MAX}$	325W
$V_{MP}$	37,0V
$I_{MP}$	8,78A
$V_{OC}$	45,5V
$I_{SC}$	9,34A
Modül Verimi	% 16,65
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40°C ~ +85°C
$P_{MAX}$ için Sıcaklık Katsayısı	-0,41 % / °C
$V_{OC}$ için Sıcaklık Katsayısı	-0,31 % / °C
$I_{SC}$ için Sıcaklık Katsayısı	0,053 % / °C
Nominal Çalışma Sıcaklığı	45±2 °C

### 3.1.1.2. Evirici seçimi

Bu tez kapsamında hesaplamalar, ABB marka ve TRIO-50.0-TL-OUTD model 50 kW'lık eviricinin karakteristik özelliklerine göre yapılacaktır.

Evirici olarak kullanacağımız bu ürün 95 kg ağırlığında ve 725\*1491\*315 mm ebatlarındadır [58].

Tablo 3.2'de eviriciye ait bazı karakteristik özellikler verilmiştir.

**Tablo 3.2** ABB TRIO-50.0-TL-OUTD Model, 50kw'lık Eviricinin Karakteristik Özellikleri[58].

<b>Parametreler</b>	<b>Özellikleri</b>
$V_{MAX,ABS}$	1.000V
$V_{START}$	360~500V
$P_{ACmax}$	50.000W
AC Gerilim Aralığı	320~480V
Çıkış Frekansı	50/60Hz
Maksimum Verim	%98,3
Maksimum Giriş Akımı	110A

### **3.1.1.3. Güneş açıları**

Panel yüzeyine gelen güneş ışınlarının açısı; bulunduğu konumun enlemine ve yıl içindeki zaman farklılıklarına göre değişir. Bu açılar, yılın tüm zamanlarına göre en büyük verimin elde edileceği büyüklükte belirlenmelidir. Böylece panel için optimum açı değeri bulunabilir.

#### **3.1.1.3.1. Azimut açısı**

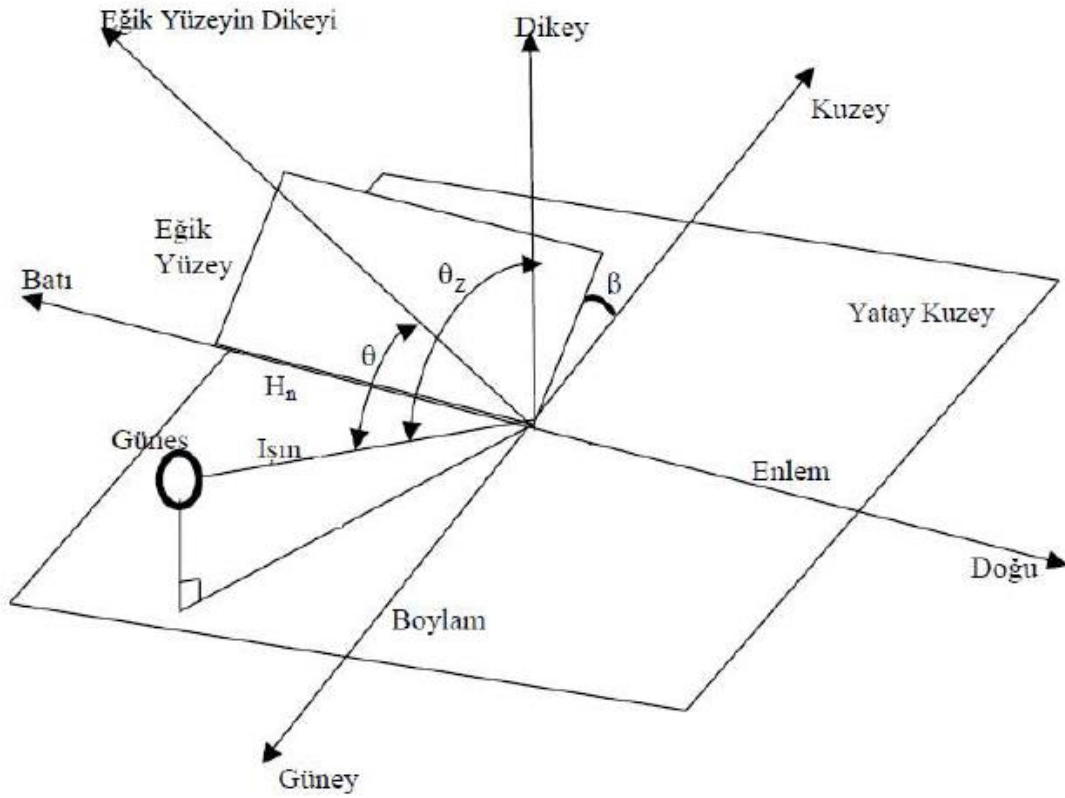
Yüzeyin normalinin, kuzey-güney doğrultusu ile yaptığı açıya azimut açısı denir. Güney  $0^\circ$  kabul edilerek saat yönünde ilerleyerek değerler alır. Örneğin batıda  $90^\circ$  ve doğuda  $270^\circ$  dir.

Şekil 3.2'de verilen  $\alpha$  azimut açısını göstermektedir.



### 3.1.1.3.4. Zenit açısı

Dikey eksen ile Güneş ışınlarının doğrultusu arasında kalan açıdır. Güneş doğarken ve batarken zenit açısı  $90^\circ$  iken güneş öğlen saatinde en tepede olduğu anda  $0^\circ$  dir. Şekil 3.4'te  $\theta$  geliş açısını,  $\theta_z$  zenit açısını ve  $\beta$  yüzeyin eğim açısını ifade eder.



Şekil 3.4 Zenit Açısı[59].

### 3.1.1.3.5. Deklinasyon açısı

Ekvator düzlemi ile güneş ışınlarının arasında kalan açıdır. Deklinasyon açısı, en kısa ve en uzun günlerde mutlak ifade edilirse maksimum değerini alır. Ekinokslarda ise deklinasyon açısı  $0^\circ$  dir [9]. Formül 3.1'de n değeri yıl içindeki gün sayısını ifade eder[60].

$$\delta = 23,45 * \sin(360 * (284 + n) / 365) (^\circ) \quad (3.1)$$



**Tablo 3.3** Aylara Göre Optimum Panel Açısı

Aylar	Ay Ortası Günü	Deklinasyon Açısı	Alanya Stadyumu Optimum Panel Açısı	Mersin Stadyumu Optimum Panel Açısı	Gaziantep Stadyumu Optimum Panel Açısı
Ocak	15	-21,27	57,6	57,76	58,34
Şubat	46	-13,29	49,62	49,78	50,36
Mart	75	-2,42	38,75	38,91	39,49
Nisan	106	9,78	26,55	26,71	27,29
Mayıs	136	19	17,33	17,49	18,07
Haziran	167	23,35	12,98	13,14	13,72
Temmuz	197	21,35	14,98	15,14	15,72
Ağustos	228	13,45	22,88	23,04	23,62
Eylül	259	1,81	34,52	34,68	35,26
Ekim	289	-9,96	46,29	46,45	47,03
Kasım	320	-19,37	55,7	55,86	56,44
Aralık	350	-23,37	59,7	59,86	60,44

Alanya Stadyumu Optimum Panel Açısı =  $36^{\circ}33'48'' \cdot 0.9 \cong 32,7^{\circ}$

Mersin Stadyumu Optimum Panel Açısı =  $36^{\circ}49'14'' \cdot 0.9 \cong 32,8^{\circ}$

Gaziantep Stadyumu Optimum Panel Açısı =  $37^{\circ}07'39'' \cdot 0.9 \cong 33,3^{\circ}$

### 3.1.1.5. Kablo kesit hesabı

Kabloların kesit hesaplamaları yapılırken dikkat edilmesi gereken iki temel büyüklük vardır. Bunlar gerilim düşümü ve akım taşıma kapasitesidir. Kabloların toprak altından ya da havadan iletim durumlarına göre kablo kesitleri değişmektedir.

Önce taşınacak güç ve buna bağlı çekilecek akım hesaplanmalıdır. Formül 3.2'deki gerilim düşümü hesabından kullanılacak kablonun kesiti bulunur. Gerilim düşümü %3'ün

altında olmalıdır. Formül 3.3 yardımıyla bulunan akım değerini taşıyabilecek kablo, gerilim düşümünden bulunan kesitle uygunluk göstermesine göre kablo kesitine karar verilir.

$$\%e = (100 * L * P) / (k * S * V^2) = 0,0124 * L * P / S \quad (3.2)$$

$$P = 1,73 * V * I * \cos\Phi \quad (3.3)$$

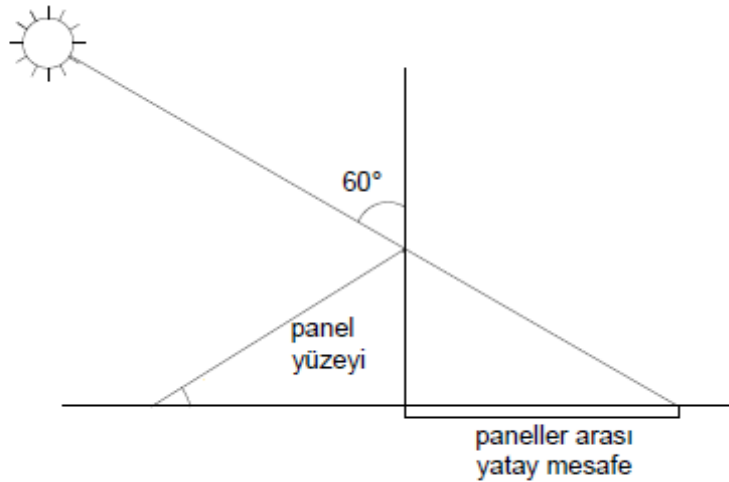
Burada L iletken boyu, P çekilen güç, k kablo iletkenlik katsayısı, S kablo kesiti, V gerilim, I akım ve  $\cos\Phi$  güç faktörü olup 0,8 değerine eşittir.

### 3.1.1.6. Paneller arası mesafe hesabı

Panel grupları arasındaki mesafe yılın hiçbir döneminde diğer grubu gölgelemeyecek şekilde olmalıdır. Panellerin oluşturacağı maksimum gölge kuzey kutbun için 21 Aralık günü oluşan gölgedir. Tablo 3.3'te de görüleceği gibi 21 Aralıkta bu açı yaklaşık 60°'dir.

Paneller arasındaki mesafe (L), Formül 3.4'ten elde edilebilir.

$$L = \text{panel boyu} * \sin(\text{Optimum Panel Açısı}) * \sin 60 / \sin 30 \quad (3.4)$$



Şekil 3.6 Paneller Arasındaki Mesafe

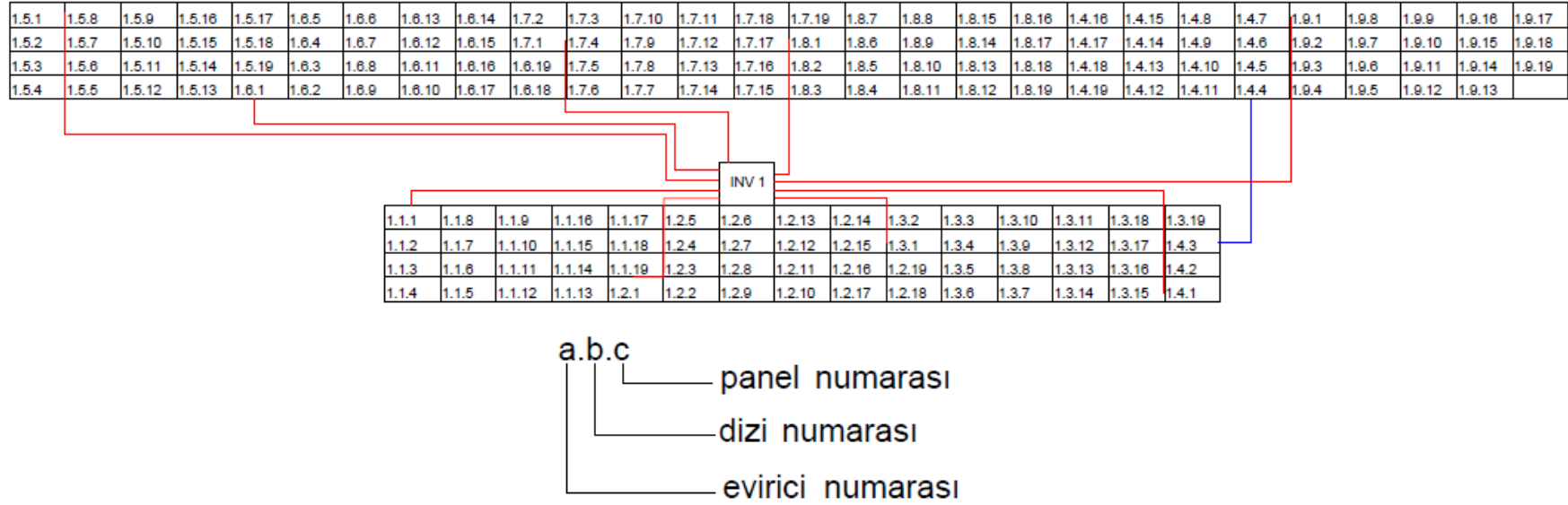
### 3.1.2 Genel yerleşim planı

Genel yerleşim planı yapılırken dikkate alınması gereken en önemli husus, yılın her ayında panellerin gölgelenmesini engellemektir. Bunun için optimum panel açısı hesabı yapıldıktan sonra panel grupları arasındaki mesafeler hesaplanmalıdır. Bu mesafeler ve açılara göre paneller, güneşi görecek şekilde yerleştirilmelidir.

Şekil 3.7’de paneller Alanya Stadyumu’nun çatısına yerleştirilmiştir. Şekil 3.8’de ise Şekil 3.7’de bulunan Detay-A kesiti gösterilmiştir.

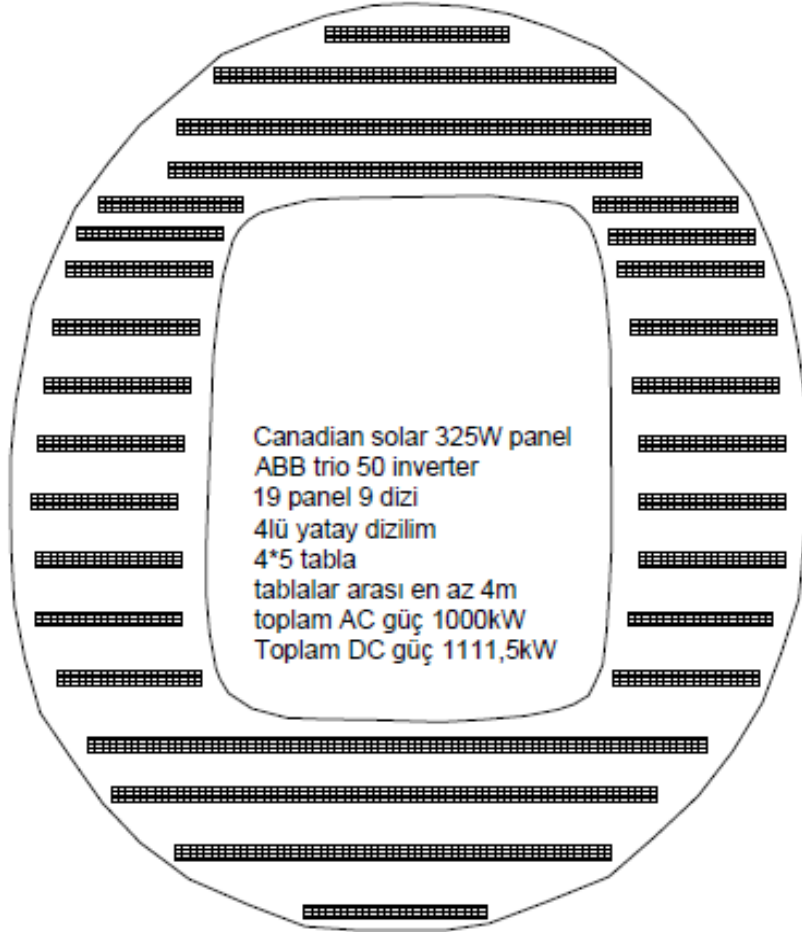


Şekil 3.7 Alanya Stadyumu Genel Yerleşim Planı



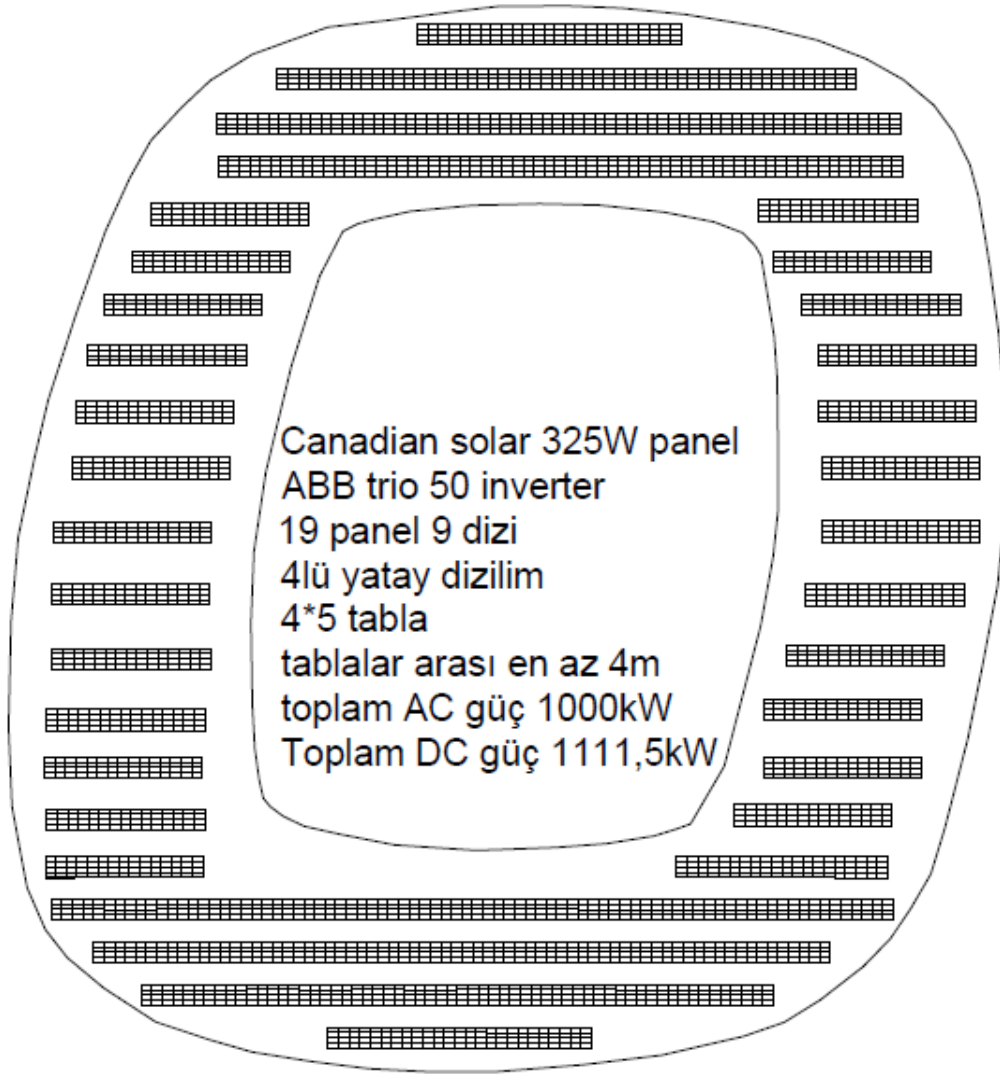
**Şekil 3.8** Alanya Stadyumu Genel Yerleşim Planında Bulunan Detay-A

Panelleri stadyumun çatısına yerleştirirken alanı en verimli bir şekilde kullanmaya özen gösterilmelidir. Optimum panel açısı ve paneller arasındaki mesafe hesaplamaları dikkate alınarak paneller yerleştirilir.



**Şekil 3.9** Mersin Stadyumu Genel Yerleşim Planı

Alanya Stadyumu'nda 2.394 adet panel kullanılmıştır. Mersin Stadyumu ve Gaziantep Stadyumu'nda ise 3.420 adet panel kullanılmıştır. Mersin Stadyumu ve Gaziantep Stadyumu alan olarak daha büyük sistem için müsait olsa da, lisanssız üretim üst sınırı 1 MW olduğu için sistem tasarımları bu durum dikkate alınarak yapılmıştır.



**Şekil 3.10** Gaziantep Stadyumu Genel Yerleşim Planı

### 3.1.3 Sistem tek hat şeması

Sistem tek hat şeması oluşturulurken öncelikle panellerin bir eviriciye kaçlı dizi olacağı ve bu dizilerdeki panel sayısı bulunmalıdır. Bu sayılar bulunurken panel ve eviricinin karakteristik özellikleri ile bölgenin hava sıcaklık değerleri dikkate alınmalıdır. Daha sonra bu eviriciler gruplanarak toplama panolarında birleştirilmeli, sonrasında ise bir ana dağıtım panosuna iletilmelidir. Ana dağıtım panosundan çıkılıp trafo merkeziyle bağlantı kurulmalı, sistemin özelliklerine göre uygun trafo seçilmelidir. Trafo çıkışında dağıtım merkezi 2 noktasına bağlantı yapılmalıdır. Dağıtım merkezi 2 ile dağıtım merkezi 1

arasındaki bağlantı yapıldıktan sonra dağıtım merkezi birden çıkış alınarak şebekeye bağlantı yapılmalıdır. Stadyumlara ait tek hat şemaları ek olarak verilmiştir.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre; Antalya ili için 1929-2016 yılları arasındaki en yüksek sıcaklık 45°C ve en düşük -4,6°C, Mersin ili için 1929-2016 yılları arasındaki en yüksek sıcaklık 40°C ve en düşük -6,6°C, Gaziantep ili için 1939-2016 yılları arasındaki en yüksek sıcaklık 44°C ve en düşük -17,5°C olarak ölçülmüştür[29].

Bölüm 3.1.1.1. ve bölüm 3.1.1.2 de verilen panel ve evirici karakteristik özelliklerine göre, panel ve dizi sayısı hesabı Formül 3.5'e göre yapılacaktır.

Güneş paneli sayısının maksimum değeri Formül 3.5'de görüldüğü gibi, evirici maksimum giriş geriliminin, minimum sıcaklıktaki açık devre gerilimine (Formül 3.5) bölünmesiyle elde edilir.

$$U_{AD(-4,6^{\circ}C)}=U_{AD(25^{\circ}C)}*[1+(sıcaklık\ farkı*gerilim\ katsayısı)] \quad (3.5)$$

$$N_{max\ panel}=V_{evirici\ max\ giriş}/ U_{AD(-4,6^{\circ}C)} \quad (3.6)$$

Formül 3.6'dan Alanya Stadı için bir dizideki maksimum panel sayısını bulduğumuzda;

$$U_{AD(-4,6^{\circ}C)}=45,5*[1+((25-(-4,6))*0,0031)]$$

$$U_{AD(-4,6^{\circ}C)}=49,675$$

$$N_{max\ panel}=1000/49,675$$

$$N_{max\ panel}=20,13$$

Bu durumda bir seriye en fazla 20 panel bağlanabilir.

Aynı hesaplamalar Mersin Stadı ve Gaziantep Stadı için de yapıldığında;

$$U_{AD(-4,6^{\circ}C)}=45,5*[1+((25-(-6,6))*0,0031)]$$

$$U_{AD(-4,6^{\circ}C)}=49,957$$

$$N_{max\ panel}=1000/49,957$$

$$N_{max\ panel}=20,02$$

$$U_{AD(-4,6^{\circ}C)}=45,5*[1+((25-(-17,5))*0,0031)]$$

$$U_{AD(-4,6^{\circ}C)}=51,494$$

$$N_{max\ panel}=1000/51,494$$

$$N_{max\ panel}=19,42$$

Eviriciye bağlanabilecek dizi sayısının maksimum değeri Formül 3.8’de görüldüğü gibi, evirici maksimum giriş akımının, maksimum sıcaklıktaki akım değerine (Formül 3.8) bölünmesiyle elde edilir.

$$I_{T-max}=I_{KD(25^{\circ}C)}*[1+(sıcaklık farkı*akım katsayısı)] \quad (3.7)$$

$$N_{max\ dizi}=I_{evirici\ max\ giriş}/ I_{T-max} \quad (3.8)$$

Formül 3.8’den bir eviricideki maksimum dizi sayısını bulduğumuzda;

Alanya için;

$$I_{T-max}=9,34*[1+(45-25)*0,0053]$$

$$I_{T-max}=10,33$$

$$N_{max\ dizi}=110/10,33$$

$$N_{max\ dizi}=10,64$$

Mersin için;

$$I_{T-max}=9,34*[1+(40-25)*0,0053]$$

$$I_{T-max}=10,08$$

$$N_{max\ dizi}=110/10,08$$

$$N_{max\ dizi}=10,91$$

Gaziantep için;

$$I_{T-max}=9,34*[1+(44-25)*0,0053]$$

$$I_{T-max}=10,28$$

$$N_{max\ dizi}=110/10,28$$

$$N_{max\ dizi}=10,70$$

Bu durumda bir eviricilere en fazla 10 dizi bağlanabilir.

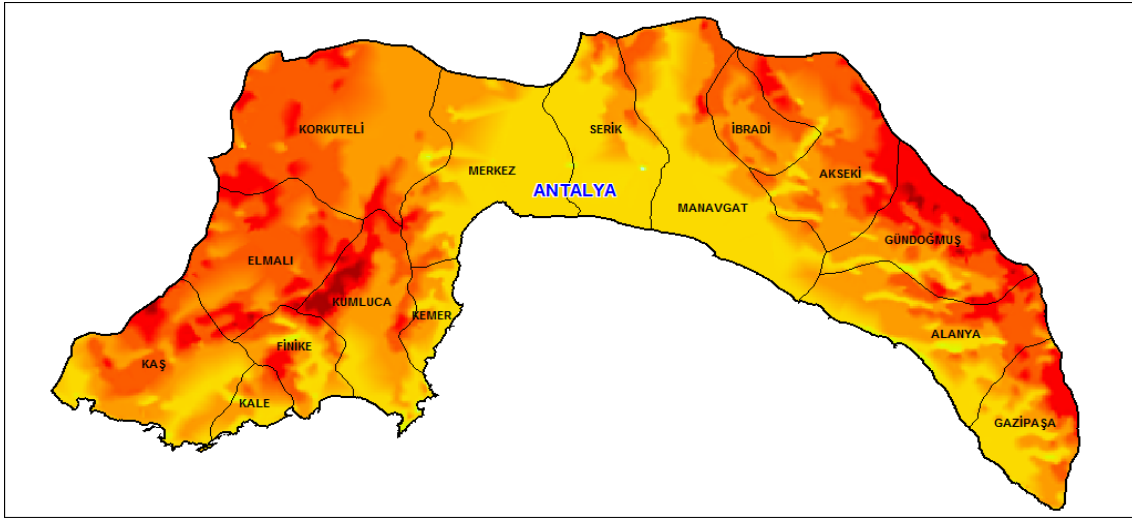
Biz eviriciye bağlanacak dizi sayısı ve bir diziye bağlanacak panel sayısını hesaplarken en yüksek değerleri seçebiliriz fakat bu durumda 50 kW AC çıkışlı eviricimizde gereğinden fazla üretim yapmış oluruz. 9 dizi ve 19 panellik bir tasarım yaptığımızda bir eviriciden 55.575 W’lık bir DC üretim elde ederiz ki, bu da 50 kW’lık bir evirici için ideal bir üretim değeridir. Yıllar içinde panel ve evirici veriminin düşeceğini göz önünde bulundurarak yaklaşık %10 fazla üretim yapmak mantıklı olacaktır.

## 3.2 Simülasyon Programları ile Analizi

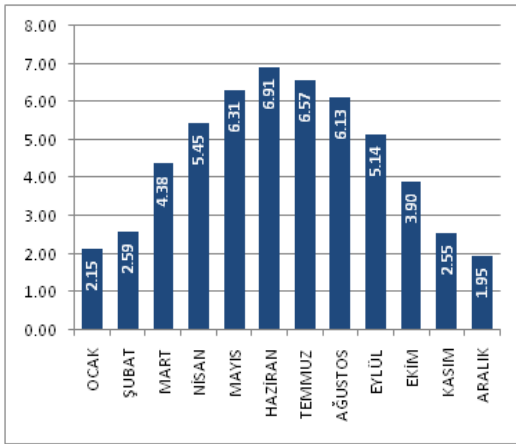
### 3.2.1 Alanya Stadı

Alanya, Antalya İli sınırları içerisinde şehir merkezine 135 km. mesafede Akdeniz kıyısında yer almaktadır.  $36^{\circ}30'07''$  ve  $36^{\circ}36'31''$  kuzey enlemleri ile  $31^{\circ}38'40''$  ve  $32^{\circ}32'02''$  doğu boylamları arasında 175.658 hektarlık bir alanı kapsayan Alanya'da tipik bir Akdeniz iklimi hakimdir.

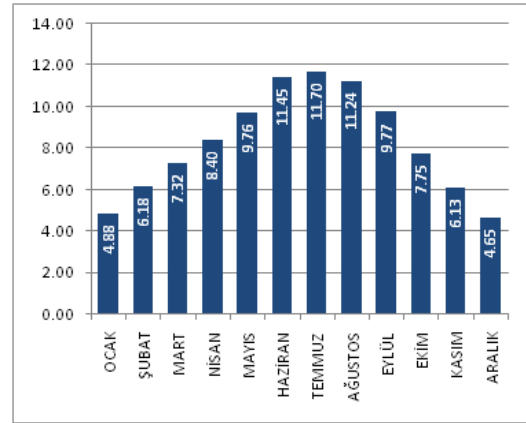
Şekil 3.11'de Antalya iline ait güneş enerji atlası, Şekil 3.12'de ise Alanya'ya ait global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir.



Şekil 3.11 Antalya İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası



(a)



(b)

Şekil 3.12 (a) Alanya Global Radyasyon Değerleri (Kwh/M2-Gün), (b) Alanya Güneşlenme Süreleri (Saat)

### 3.2.1.1 PVSYST ile analiz

PvSyst programında, analizin yapılacağı yerin coğrafi bilgileri gerekmektedir. Şebeke bağlantılı tasarlanan sistemde Alanya Stadı için enlem ve boylam bilgileri girildi. Çevresinde gölgelenme olmadığından bu doğrultuda simülasyon yapıldı. Şekil 3.13'te sistem simülasyon parametreleri görülmektedir.

**Grid-Connected System: Simulation parameters**

<b>Project :</b>	<b>alanya</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Alanya</b>	<b>Country</b>	<b>Turkey</b>
<b>Situation</b>	<b>Latitude</b> 36.56° N	<b>Longitude</b>	32.08° E
<b>Time defined as</b>	<b>Legal Time</b> Time zone UT+3	<b>Altitude</b>	117 m
	<b>Albedo</b>		0.20
<b>Meteo data:</b>	<b>Alanya</b>	<b>Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100% - Synthetic</b>	
<hr/>			
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>		
	<b>Simulation date</b>	10/04/18 11h22	
<hr/>			
<b>Simulation parameters</b>	<b>System type</b>	<b>No 3D scene defined</b>	
<b>Collector Plane Orientation</b>	<b>Tilt</b>	30°	<b>Azimuth</b> 0°
<b>Models used</b>	<b>Transposition</b>	Perez	<b>Diffuse</b> Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	<b>Free Horizon</b>		
<b>Near Shadings</b>	<b>No Shadings</b>		

**Şekil 3.13** Alanya Stadı'na Ait Simülasyon Parametreleri

Sistemlerin kayıp analizinin yapılması, sistemin stabil çalışması için gereklidir. Güneş ışınlarının geliş açısı yansıma kayıplarının belirlenmesinde önemlidir. Panel yüzeyine 90° açıyla gelen güneş ışını, kayba uğramadan kullanılabilir. Açı azaldıkça, Şekil 3.14'te de görüldüğü gibi kayıp oranı artmaktadır. Bu kaybı azaltmanın bir yolu da güneş takipli sistem kurmaktır. Böylece paneller güneşlenme süresi boyunca ışınları dik açıyla alabilir. Bunun için taşıyıcı ayakların hareketli olması gerekir. Bu durum maliyette artışa sebebiyet verdiği için sistemi tasarlarken bu yöntem kullanılmamıştır. Ayrıca Şekil 3.14'te sistemin PV dizi kayıp değerleri gösterilmektedir. Kurulum öncesinde sistem üzerine etkiyen rüzgar yükünün ölçülmesi gerekmektedir. Sahada böyle bir çalışma yapılamadığından, programdaki varsayılan değerler kullanılmıştır.

PV Array loss factors									
Thermal Loss factor	Uc (const)		20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)		0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s			
Wiring Ohmic Loss	Global array res.		8.6 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC				
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.4 %				
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP				
Strings Mismatch loss				Loss Fraction	0.10 %				
Incidence effect (IAM): User defined IAM profile									
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	0.998	0.998	0.995	0.992	0.988	0.970	0.917	0.763	0.000

Şekil 3.14 Alanya Stadı PV Dizi Kayıp Değerleri

Sistemi oluşturan en önemli faktörler panel ve eviricilerdir. Bu bileşenlerin karakteristik özellikleri sistemin tasarımı esnasında dikkate alınması gereken değerlerdir. Şekil 3.15'te sistemde kullanılmış olan PV modül ve eviricilerin karakteristik özellikleri gösterilmektedir.

PV Array Characteristics				
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	C S6X - 325P-FG	
Original PVsyst database		Manufacturer	Canadian Solar Inc.	
Number of PV modules		In series	18 modules	In parallel 133 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	2394	Unit Nom. Power 325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	778 kWp	At operating cond. 698 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	595 V	I mpp 1172 A
Total area		Module area	4674 m <sup>2</sup>	Cell area 4195 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>		Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	
Original PVsyst database		Manufacturer	ABB	
Characteristics		Operating Voltage	300-950 V	Unit Nom. Power 50.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	12 units	Total Power 600 kWac
				Pnom ratio 1.30

Şekil 3.15 PV Modül ve Eviricilerin Karakteristik Özellikleri

Şebekeye bağlı olarak tasarlanmış sistemin simülasyon sonuçları Şekil 3.16'da görülmektedir. Ayrıca yine Şekil 3.16'da görülen grafiklerde kayıplar ve sistemin ürettiği enerji ile birlikte performans oranı gösterilmektedir. Şekil 3.16'daki ilk grafikte mavi renkle gösterilen alan PV-dizi kayıplarını, yeşil renkle gösterilen alan sistem kayıplarını ve bordo renkle gösterilen alan ise üretilen kullanılabilir enerjiyi aylara göre göstermektedir. İkinci grafik ise aylara göre üretilen kullanılabilir enerjinin, kayıplar göz önünde bulundurularak üretilen toplam enerjiye oranı olan performans oranını göstermektedir.

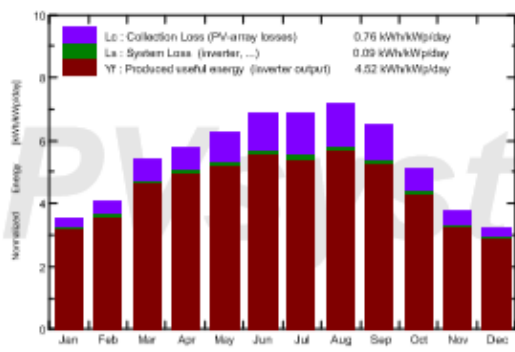
## Grid-Connected System: Main results

Project : alanya  
Simulation variant : New simulation variant

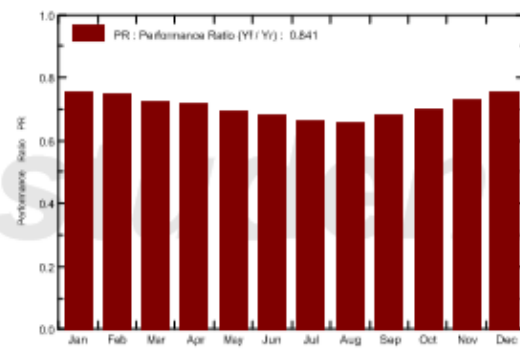
<b>Main system parameters</b>	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6X - 325P-FG	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	2394	Pnom total	778 kWp
Inverter	Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	12.0	Pnom total	600 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

<b>Main simulation results</b>				
System Production	Produced Energy	1283 MWh/year	Specific prod.	1649 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	84.05 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 778 kWp



Performance Ratio PR



Şekil 3.16 Alanya Stadı Sistem Simülasyon Sonuçları

Şekil 3.17’de aylara göre simülasyon değerleri gösterilmektedir. Sırasıyla küresel yatay ışınım, yatay dağılık ışınım, ortam sıcaklığı, toplanma yüzeyindeki küresel ışınım yükü, gölgelenme verilerine göre ulaşılmış yansımaya kayıpları, dizilere ait efektif enerji, şebekeyi besleyen enerji ve performans oranıdır.

Küresel yatay ışınım değeri fotovoltaik tesisler için önemli bir değerdir. Güneşten çıkan ışınlar atmosferde kırılmadan yeryüzüne ulaşırsa buna direkt radyasyon, bulutlar gibi engellere takılarak kırılıp gelen ışınlar da difüzyon radyasyon denir. Küresel yatay ışınım değeri, bu iki bileşenin toplamıdır ve birim yüzeye ulaşan toplam radyasyon değerini verir.

**New simulation variant  
Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	72.8	33.30	9.96	109.4	107.5	78.5	77.1	0.905
February	84.8	39.30	10.79	113.6	111.4	80.3	78.9	0.893
March	139.0	61.90	13.96	166.0	162.6	114.3	112.2	0.869
April	163.4	77.20	16.67	173.9	169.9	118.0	115.8	0.856
May	200.2	82.50	21.54	194.7	190.2	129.1	126.5	0.835
June	220.9	75.10	26.08	205.2	200.3	132.7	129.8	0.813
July	223.0	72.30	29.48	211.7	206.8	134.1	131.1	0.796
August	213.7	64.10	29.26	222.7	218.0	140.7	137.5	0.794
September	166.2	57.90	25.28	194.0	190.1	125.9	123.3	0.817
October	121.2	48.80	21.31	159.0	156.0	106.3	104.2	0.842
November	77.0	34.70	15.25	113.0	110.9	78.6	77.1	0.877
December	63.9	31.40	11.36	98.8	97.0	70.9	69.6	0.905
Year	1745.9	678.50	19.30	1962.0	1920.7	1309.5	1283.0	0.841

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation  
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation  
 T Amb Ambient Temperature  
 GlobInc Global incident in coll. plane  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 EArray Effective energy at the output of the array  
 E\_Grid Energy injected into grid  
 PR Performance Ratio

**Şekil 3.17** Alanya Stadı Aylara Göre Simülasyon Değerleri

Sistemdeki tüm kayıpların gösterildiği Şekil 3.18’de kayıplar % değerler olarak ifade edilmiştir. Kayıp diyagramı fotovoltaik bir sistem dizaynına, kayıpların kaynağını tanımlamak suretiyle hızlı ve detaylı bir bakış açısı sağlar.

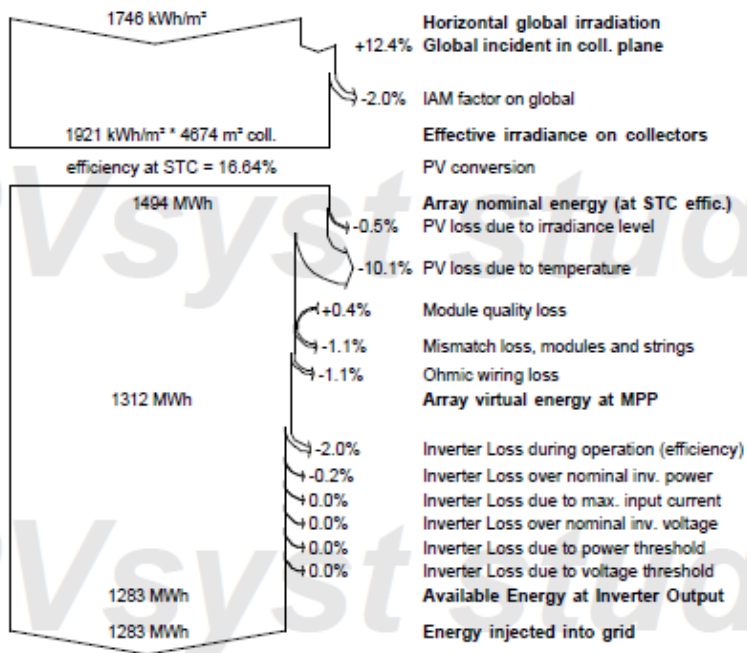
Yıllık üretimdeki toplam kayıp ve kazançların gösterildiği diyagramda ilk olarak yatay küresel ışınım değeri 1.746 kWh/m<sup>2</sup> olarak gösterilmiştir. Toplanma yüzeyindeki küresel ışınım yükü ve güneş ışınlarının geliş açısına bağlı yansımaya kayıplarının azaltılmasıyla toplayıcılardaki etkili ışınım oranı 1.921 kWh/m<sup>2</sup> olarak görülmektedir. Daha sonra dizilerde oluşan termal kayıplar, kablo dirençlerine bağlı kayıplar, modüllerin karakteristik özellikleri gerçekte farklılık göstereceğinden devreden geçen akımlardaki farklılıktan kaynaklanarak oluşan kayıplar ve üreticiye bağlı olarak modül toleransıyla oluşan kayıp ya da kazançlar dikkate alındığında 1.312 MWh’lik bir üretim görülmektedir. Sonrasında görülen kısım evirici kayıplarını göstermekte ve bu kayıplardan sonra sistemin tüm kayıpları hesaplanmış olup şebekeyi beslediği değer elde edilecektir. Bu değer de 1.283 MWh’tir.

## Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **alanya**  
 Simulation variant : **New simulation variant**

<b>Main system parameters</b>	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6X - 325P-FG	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	2394	Pnom total	778 kWp
Inverter	Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	12.0	Pnom total	600 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year

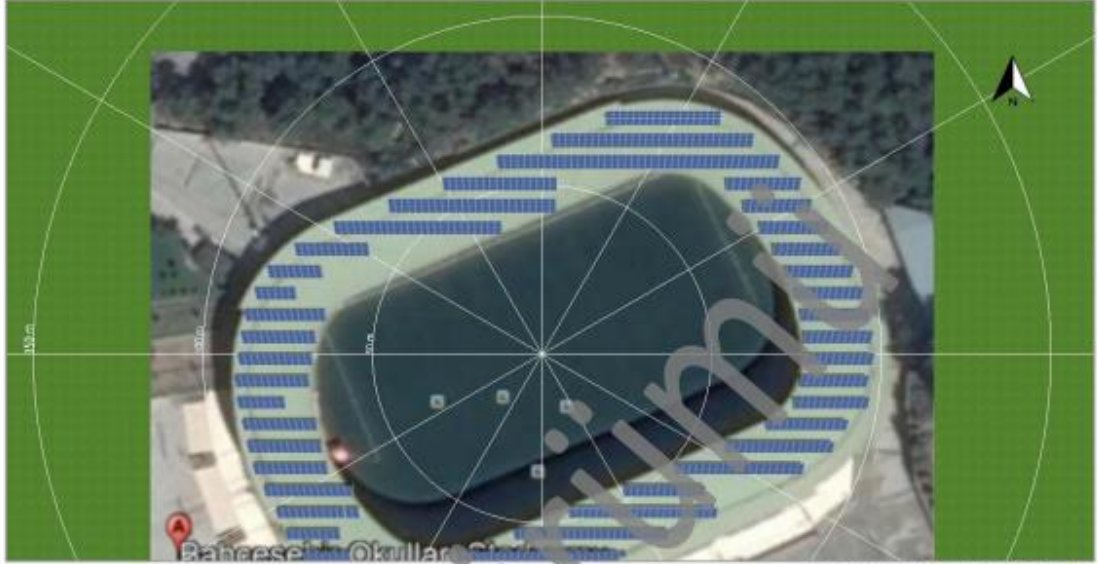


Şekil 3.18 Alanya Stadı Sistem Kayıp Diyagramı

### 3.2.1.2 PVSOL ile analiz

Alanya Stadı için PvSol programında analiz yapmaya başlarken ilk adım sistemin şebeke bağlantısı ve büyüklüğü ile ilgili bilgilerin sisteme tanıtılmasıdır. Şekil 3.19’da da sisteme ait bilgiler gösterilmektedir.

## Projeye Genel Bakış



Resim: Genel Görüntü, 3D Tasarım

## PV sistemi

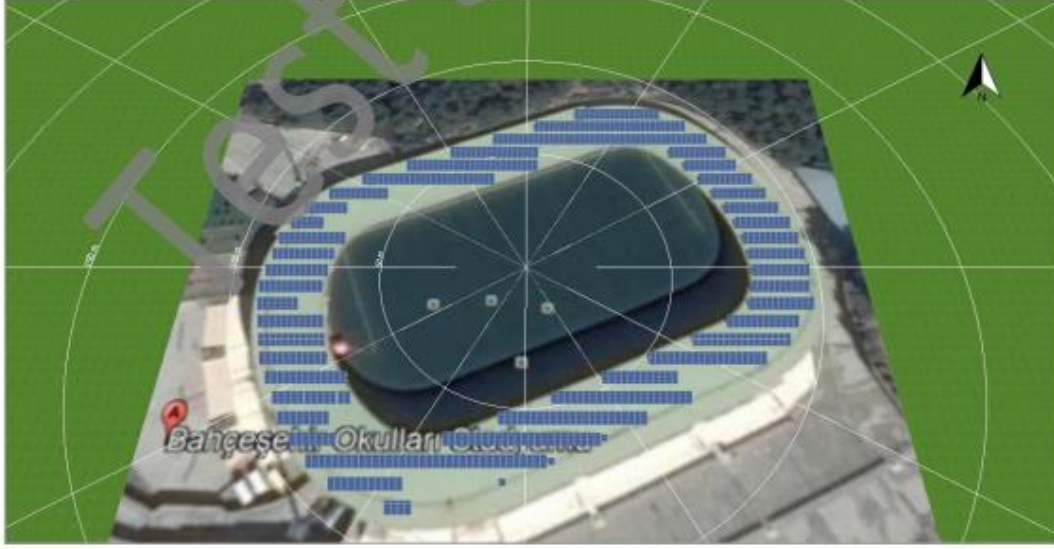
### 3D, Şebekeye bağlı PV sistemi

İklim verileri	Alanya, TUR (1991 - 2010)
PV jeneratör çıkışı	778,05 kWp
PV jeneratör yüzeyi	4.654,7 m <sup>2</sup>
Sayı PV modülleri	2394
Evirici Sayısı	14

Şekil 3.19 Alanya Stadı Şebekeye Bağlı Sistem Parametreleri

Sistemin kurulacağı bölgenin iklim koşulları ve kullanılan panellerin teknik özelliklerinin gösterildiği Şekil 3.20’de genel yerleşim planı da görülmektedir.

PV jeneratörü, 1. Modül Alanı - Open Area (Map Section)-Area South	
İsim	Open Area (Map Section)-Area South
PV modülleri	2394 x CS6U-325P_1500V
Üretici	Canadian Solar Inc.
Eğim	30 °
Yerleşim Yönü	Güney 180 °
Montaj Türü	Arazi Kurulumu
PV jeneratör yüzeyi	4.654,7 m <sup>2</sup>

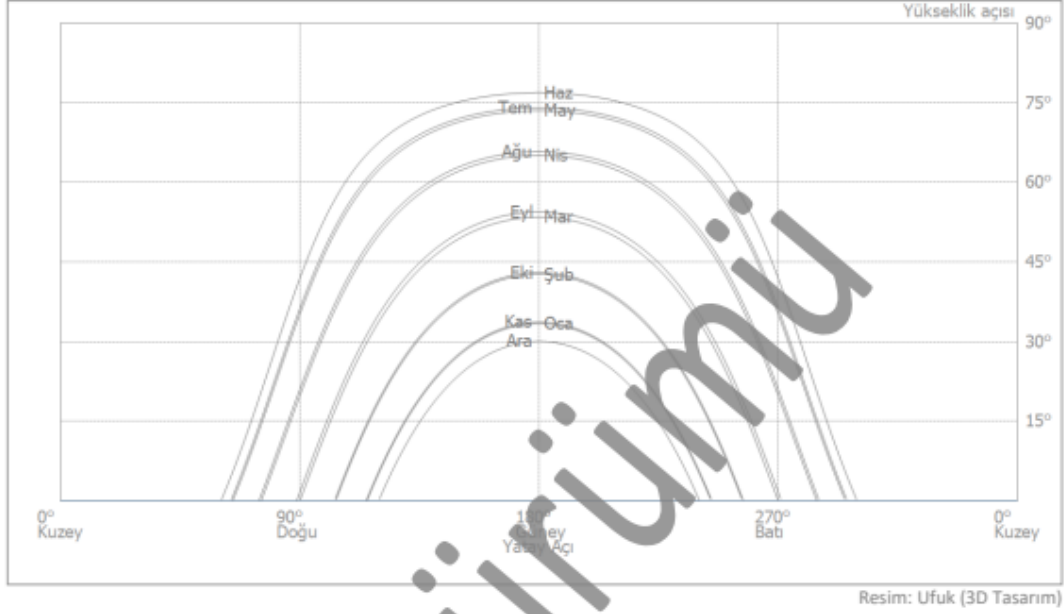


Resim: 1. Modül Alanı - Open Area (Map Section)-Area South

### Şekil 3.20 Alanya Stadı Sistem Kurulum Bilgileri

Sistemin önemli bileşenlerinden olan evirici seçimi ve bölgeye göre ufuk çizgisi açısı Şekil 3.21’de gösterilmektedir.

## Ufuk çizgisi, 3D Tasarım



## İnvertör konfigürasyonu

### Konfigürasyon 1

Modül Alanı	Open Area (Map Section)-Area South
Eviriciler 1	
Üretici	ABB
Model	TRIO-50.0-TL-OUTD
Sayı	14
Boyutlandırma faktörü	111,2 %
Konfigürasyon	MPP 1: 9 x 19

Şekil 3.21 Alanya Stadı Evirici Seçimi Ve Ufuk Çizgisi Açısı

Analizi yapılan sistemin enerji bilançosu Şekil 3.22’de detaylı olarak gösterilmektedir.

## PV sistemi enerji bilançosu

### PV sistemi enerji bilançosu

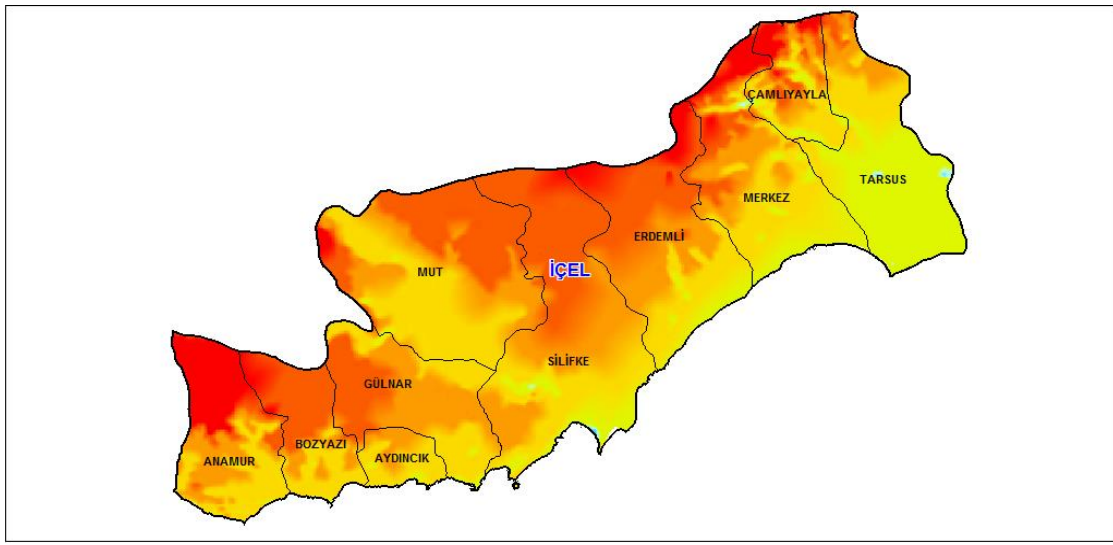
<b>Toplam Işınım - Yatayda</b>	<b>1.766,97 kWh/m<sup>2</sup></b>	
Standart spektrumdan sapma	-17,67 kWh/m <sup>2</sup>	-1,00 %
Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)	23,44 kWh/m <sup>2</sup>	1,34 %
Modül yüzeyinin Yerleşim Yönü ve Eğimi	155,19 kWh/m <sup>2</sup>	8,75 %
Modülden bağımsız gölgeleme	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	0,00 %
Modül yüzeyinde yansıma	-15,50 kWh/m <sup>2</sup>	-0,80 %
<b>Modül Üzerine Düşen Toplam Işınım</b>	<b>1.912,43 kWh/m<sup>2</sup></b>	
	1.912,43 kWh/m <sup>2</sup>	
	x 4684,7 m <sup>2</sup>	
	= 8.901.776,86 kWh	
<b>Toplam PV Işınımı</b>	<b>8.901.776,86 kWh</b>	
Kirlenme	0,00 kWh	0,00 %
STC Dönüşümü (Modülün nominal verimliliği 16,71 %)	7.414.464,19 kWh	-83,29 %
<b>Anma PV Enerjisi</b>	<b>1.487.322,68 kWh</b>	
modüle özgü kısmı gölgeleme	0,00 kWh	0,00 %
Düşük ışık performansı	-24.873,29 kWh	-1,67 %
Nominal modül sıcaklığından sapma	-78.658,65 kWh	-5,38 %
Diyotlar	0,00 kWh	0,00 %
Uyumsuzluk (üretici bilgisi)	-27.675,81 kWh	-2,00 %
Uyumsuzluk (konfigürasyon / gölgeleme)	0,00 kWh	0,00 %
<b>Evirici düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC)</b>	<b>1.356.114,92 kWh</b>	
DC başlangıç çıkışına ulaşamadı	-76,49 kWh	-0,01 %
MPP-gerilim aralığı için düzenleme	-0,24 kWh	0,00 %
Maks. DC Akımı için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. DC Performans için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. AC Performans/cos phi için düzenleme	-115,87 kWh	-0,01 %
MPP Eşleme	-2.863,81 kWh	-0,21 %
<b>PV Enerjisi (DC)</b>	<b>1.353.058,51 kWh</b>	
<b>Evirici Girişindeki Enerji</b>	<b>1.353.058,51 kWh</b>	
Giriş gerilimi anma geriliminden sapıyor	-1.861,34 kWh	-0,14 %
DC/AC Dönüşümü	-25.875,24 kWh	-1,91 %
Bekleme Konumundaki Tüketim (Eviriciler)	-61,68 kWh	0,00 %
Toplam kablo kayıpları	0,00 kWh	0,00 %
<b>Bekleme Konumundaki Kullanımı Hariç PV Enerjisi (AC)</b>	<b>1.325.260,24 kWh</b>	
<b>Şebeke beslemesi</b>	<b>1.325.321,93 kWh</b>	

Şekil 3.22 Alanya Stadı Sistem Enerji Bilançosu

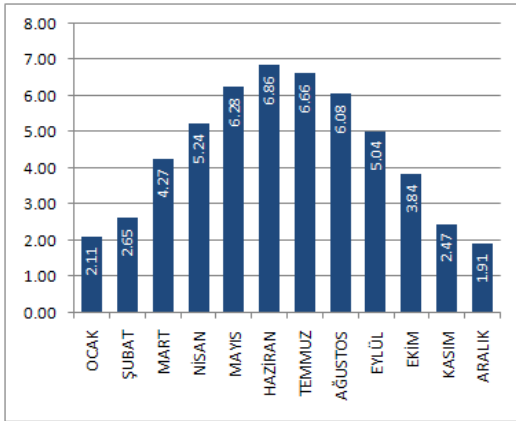
### 3.2.2 Mersin stadı

Mersin ili Akdeniz kıyısında yer almaktadır.  $36^{\circ}07'73''$  ve  $37^{\circ}25'69''$  kuzey enlemleri ile  $32^{\circ}83'29''$  ve  $34^{\circ}62'63''$  doğu boylamları arasında 1.585.300 hektarlık yüzölçümü ile Türkiye'nin toplam yüzölçümünün yaklaşık %2'sini oluşturmaktadır. Mersin'de tipik bir Akdeniz iklimi hakimdir.

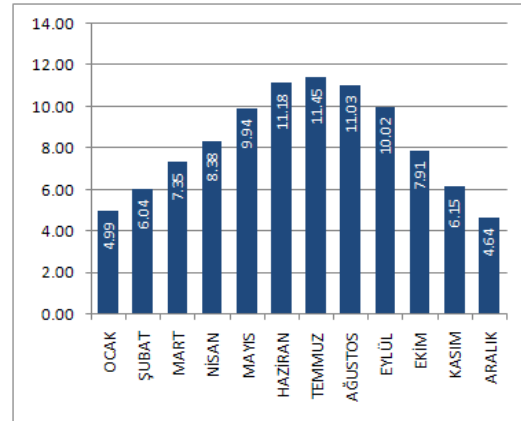
Şekil 3.23'te Mersin iline ait güneş enerji atlası, Şekil 3.24'te ise global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir



Şekil 3.23 Mersin İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası



(a)



(b)

Şekil 3.24 (a) Mersin Global Radyasyon Değerleri (Kwh/M2-Gün), (b) Mersin Güneşlenme Süreleri (Saat)

### 3.2.2.1 PVSYST ile analizi

PvSyst programında, analizin yapılacağı yerin coğrafi bilgileri Şekil 3.25'te sistem simülasyon parametreleri olarak görülmektedir.

**Grid-Connected System: Simulation parameters**

<b>Project :</b>	mersin			
<b>Geographical Site</b>	Mersin	Country	Turkey	
<b>Situation</b>	Latitude	36.82° N	Longitude	34.54° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	193 m
	Albedo	0.20		
<b>Meteo data:</b>	mersin	Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=92% - Synthetic		
<hr/>				
<b>Simulation variant :</b>	mersin			
	Simulation date	10/04/18 11h54		
<hr/>				
<b>Simulation parameters</b>	System type	No 3D scene defined		
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	30°	Azimuth	0°
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>	No Shadings			

Şekil 3.25 Mersin Stadı'na Ait Simülasyon Parametreleri

Şekil 3.26'da sistemde kullanılmış olan PV modül ve eviricilerin karakteristik özellikleri gösterilmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere PV modül ve evirici seçimi sistemin tasarımı açısından en önemli etkenlerdir.

<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	CS6X - 325P-FG	
Original PVsyst database	Manufacturer	Canadian Solar Inc.		
Number of PV modules	In series	18 modules	In parallel	190 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	3420	Unit Nom. Power	325 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1112 kWp	At operating cond.	997 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	595 V	I mpp	1674 A
Total area	Module area	6677 m <sup>2</sup>	Cell area	5993 m <sup>2</sup>
<hr/>				
<b>Inverter</b>	Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400		
Original PVsyst database	Manufacturer	ABB		
Characteristics	Operating Voltage	300-950 V	Unit Nom. Power	50.0 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	17 units	Total Power	850 kWac
			Pnom ratio	1.31

Şekil 3.26 Mersin Stadı PV Modül ve Eviricilerin Karakteristik Özellikleri

Sistemlerin kayıp analizinin yapılmasının önemine bölüm 3.2.1.1’de ayrıntılı olarak değinilmiş olup kayıpların sistem üzerine etkileri konuşulmuştur. Mersin Stadi’nda da yapılan analizlerde aynı bilgiler geçerlidir.

Şekil 3.27’de görüldüğü gibi açı azaldıkça kayıp oranı artmaktadır. Ayrıca Şekil 3.27’de sistemin PV dizi kayıp değerleri gösterilmektedir.

PV Array loss factors								
Thermal Loss factor	Uc (const) 20.0 W/m <sup>2</sup> K      Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s							
Wiring Ohmic Loss	Global array res. 6.0 mOhm      Loss Fraction 1.5 % at STC							
Module Quality Loss	Loss Fraction -0.4 %							
Module Mismatch Losses	Loss Fraction 1.0 % at MPP							
Strings Mismatch loss	Loss Fraction 0.10 %							
Incidence effect (IAM): User defined IAM profile								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.783	0.000

**Şekil 3.27** Mersin Stadi PV Dizi Kayıp Değerleri

Şebekeye bağlı olarak tasarlanmış sistemin simülasyon sonuçları Şekil 3.28’de görülmektedir. Ayrıca yine Şekil 3.28’de görülen grafiklerde kayıplar ve sistemin ürettiği enerji ile birlikte performans oranı gösterilmektedir. Şekil 3.27’deki ilk grafikte mavi renkle gösterilen alan PV-dizi kayıplarını, yeşil renkle gösterilen alan sistem kayıplarını ve bordo renkle gösterilen alan ise üretilen kullanılabilir enerjiyi aylara göre göstermektedir. İkinci grafik ise aylara göre üretilen kullanılabilir enerjinin, kayıplar göz önünde bulundurularak üretilen toplam enerjiye oranı olan performans oranını göstermektedir.

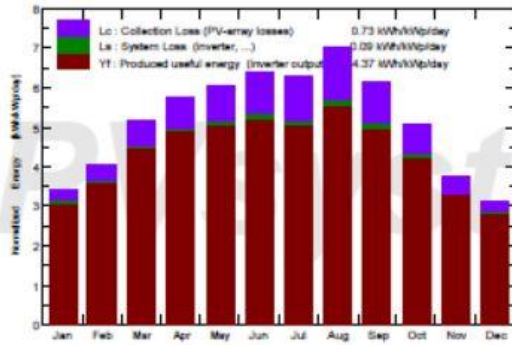
## Grid-Connected System: Main results

Project : mersin

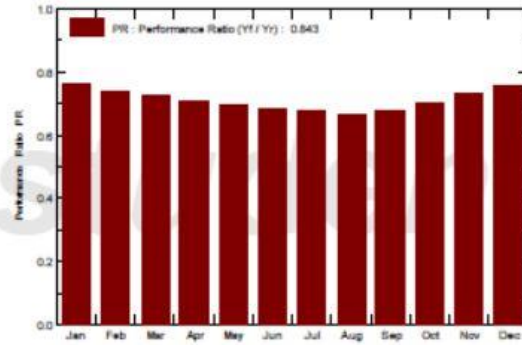
Simulation variant : mersin

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation		tilt	30°	azimuth 0°
PV modules		Model	CS6X - 325P-FG	Pnom 325 Wp
PV Array		Nb. of modules	3420	Pnom total 1112 kWp
Inverter		Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	Pnom 50.0 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	17.0	Pnom total 850 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)		
Main simulation results				
System Production		Produced Energy	1773 MWh/year	Specific prod. 1595 kWh/kWp/year
		Performance Ratio PR	84.26 %	

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1112 kWp



Performance Ratio PR



Şekil 3.28 Mersin Stadı Sistem Simülasyon Sonuçları

Şekil 3.29'da aylara göre simülasyon değerleri gösterilmektedir. Sırasıyla küresel yatay ışınım, yatay dağılık ışınım, ortam sıcaklığı, toplanma yüzeyindeki küresel ışınım yükü, gölgelenme verilerine göre ulaşılmış yansımaya kayıpları, dizilere ait efektif enerji, şebekeyi besleyen enerji ve performans oranıdır.

mersin  
Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	71.0	35.74	9.15	105.9	103.8	109.0	107.1	0.910
February	84.6	39.28	10.41	113.5	111.3	114.4	112.4	0.891
March	132.8	61.65	14.13	159.4	156.2	157.1	154.2	0.870
April	161.8	70.18	17.25	173.1	169.3	168.4	163.2	0.848
May	194.4	86.61	21.75	187.9	183.5	178.2	174.7	0.836
June	204.9	82.24	25.58	191.3	186.7	178.1	174.3	0.820
July	205.3	79.24	28.57	194.5	189.9	178.4	174.5	0.807
August	209.4	59.84	28.85	217.2	212.6	196.3	191.9	0.795
September	157.5	59.37	25.50	183.2	179.6	169.8	166.3	0.817
October	118.3	49.49	21.98	156.8	153.9	149.5	146.5	0.841
November	76.4	32.41	15.36	112.8	110.8	111.8	109.7	0.875
December	62.2	30.27	10.67	97.6	95.7	100.0	98.2	0.905
Year	1678.5	686.34	19.15	1893.1	1853.3	1809.0	1772.9	0.843

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation  
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation  
 T Amb Ambient Temperature  
 GlobInc Global incident in coll. plane  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 EArray Effective energy at the output of the array  
 E\_Grid Energy injected into grid  
 PR Performance Ratio

**Şekil 3.29** Mersin Stadı Aylara Göre Simülasyon Değerleri

Sistemdeki tüm kayıpların gösterildiği Şekil 3.30'da kayıplar % değerler olarak ifade edilmiştir. Yıllık üretimdeki toplam kayıp ve kazançların gösterildiği diyagramda ilk olarak yatay küresel ışıınım değeri 1.679 kWh/m<sup>2</sup> olarak gösterilmiştir. Toplanma yüzeyindeki küresel ışıınım yükü ve güneş ışıınlarının geliş açısına bağlı yansıma kayıplarının azaltılmasıyla toplayıcılardaki etkili ışıınım oranı 2.059 kWh/m<sup>2</sup> olarak görülmektedir. Daha sonra dizilerde oluşan termal kayıplar, kablo dirençlerine bağlı kayıplar, modüllerin karakteristik özellikleri gerçekte farklılık göstereceğinden devreden geçen akımlardaki farklılıktan kaynaklanarak oluşan kayıplar ve üreticiye bağlı olarak modül toleransıya oluşan kayıp ya da kazançlar dikkate alındığında 1.815 MWh'lik bir üretim görülmektedir. Sonrasında görülen kısım evirici kayıplarını göstermekte ve bu kayıplardan sonra sistemin tüm kayıpları hesaplanmış olup şebekeyi beslediği değeri elde edilecektir. Bu değeri de 1.773 MWh'tir.

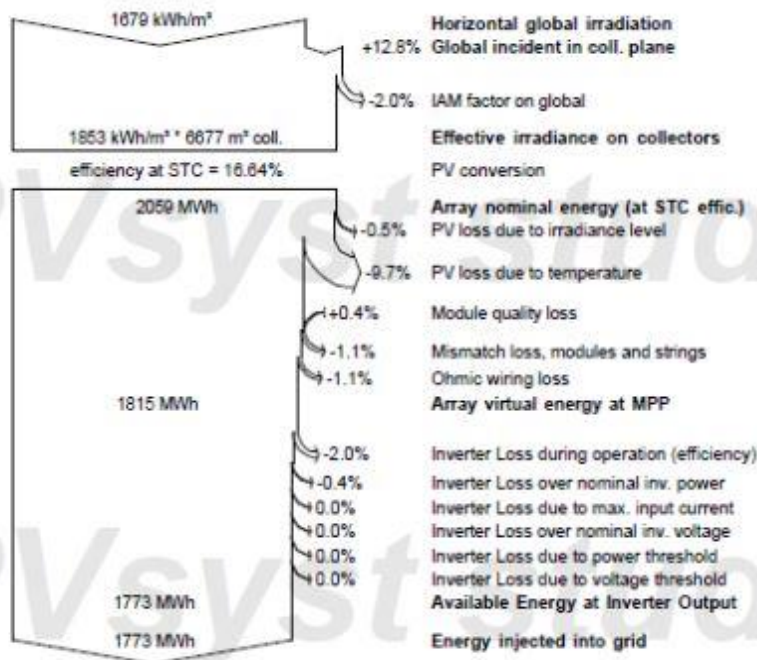
## Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** mersin

**Simulation variant :** mersin

<b>Main system parameters</b>	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6X - 325P-FG	Pnom 325 Wp
PV Array	Nb. of modules	3420	Pnom total 1112 kWp
Inverter	Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	Pnom 50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	17.0	Pnom total 850 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

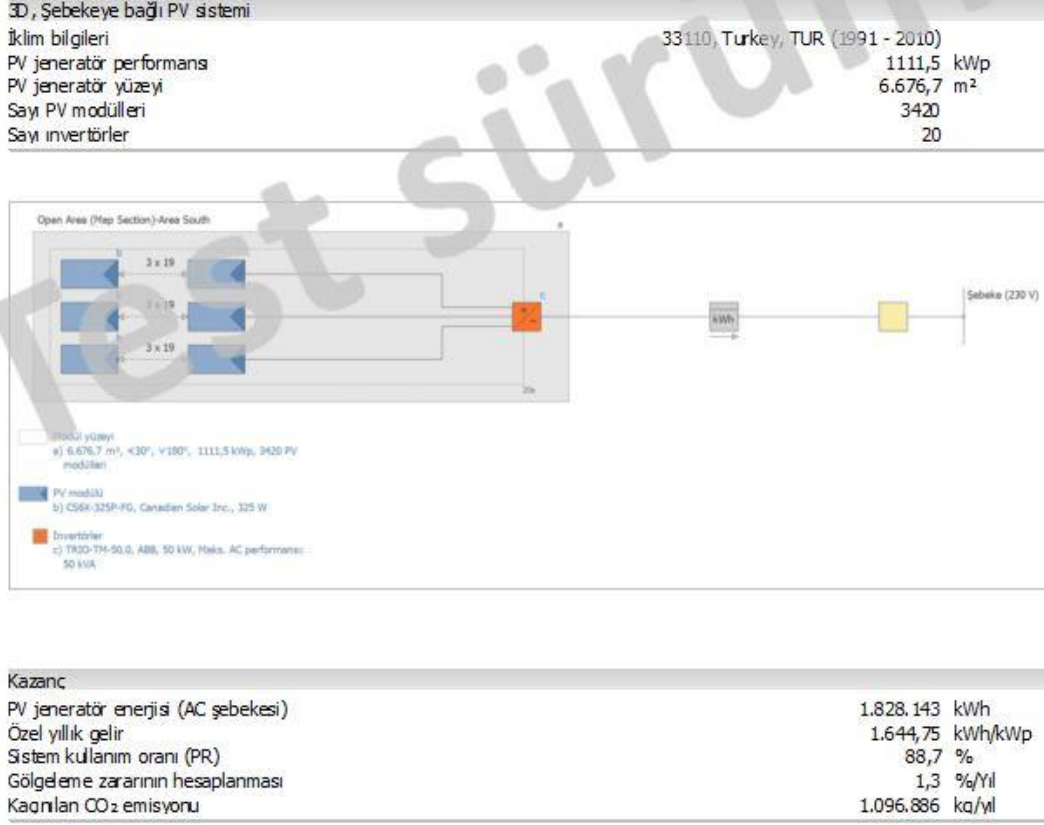
Loss diagram over the whole year



Şekil 3.30 Mersin Stadı Sistem Kayıp Diyagramı

### 3.2.2.2 PVSOL ile analiz

Mersin Stadı'na ait sistemin şebeke bağlantısı ve büyüklüğü ile ilgili bilgiler Şekil 3.31'de gösterilmektedir.



Şekil 3.31 Mersin Stadı Şebekeye Bağlı Sistem Parametreleri

Sistemin kurulacağı bölgenin iklim koşulları ve kullanılan panellerin teknik özelliklerinin gösterildiği Şekil 3.32'de, genel yerleşim planı da görülmektedir.

### Sistemin kurulumu

İklim bilgileri 33110, Turkey, TUR (1991 - 2010)  
Verilerin özünürlüğü 1 h

Ek türü 3D, Şebekeye bağlı PV sistemi

Kullanılan simülasyon modelleri Hofmann  
Yatayda yayılmış radyasyon Hay & Davies  
Eğimli alana ışınlama

### PV jeneratörü Modül yüzeyi

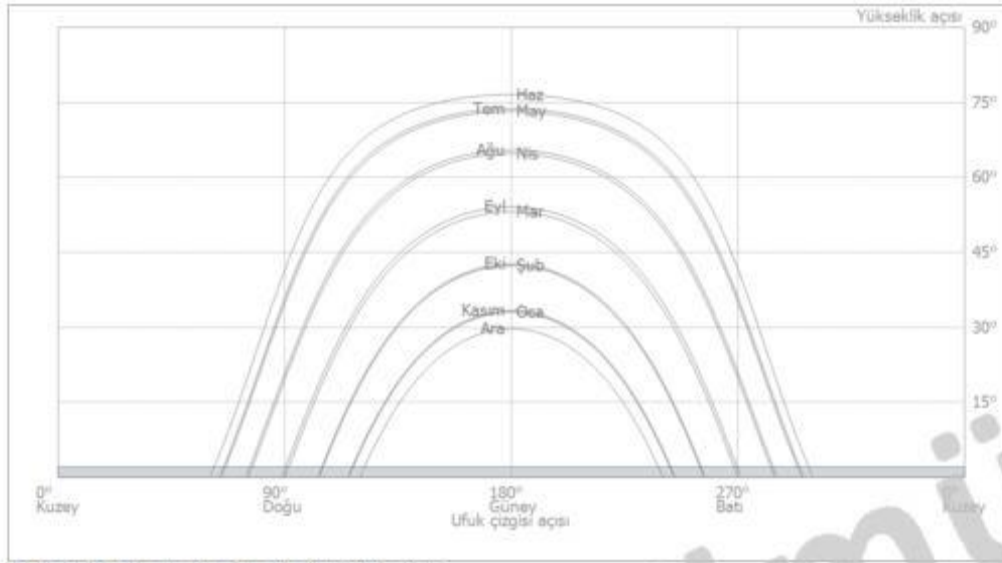
İsim Open Area (Map Section)-Area South  
PV modülleri\* 3420 x CS6X-325P-FG  
Üretici Canadian Solar Inc.  
Eğim 30 °  
Oryantasyon Güney 180 °  
Montaj durumu yükseltilmiş boş alan  
PV jeneratör yüzeyi 6.676,7 m<sup>2</sup>



Resim: Open Area (Map Section)-Area South için 3D planı

**Şekil 3.32** Mersin Stadı Sistem Kurulum Bilgileri

Sistemin önemli bileşenlerinden olan evirici seçimi ve bölgeye göre ufuk çizgisi açısı Şekil 3.33'te gösterilmektedir.



Resim: Ufuk çizgisi den/dan Open Area (Map Section)-Area South

İnventörler	Open Area (Map Section)-Area South
<b>Modül yüzeyi</b>	20 x TRIO-TM-50.0
İnventörler 1*	ABB
Üretici	MPP 1:
Ara bağlantı	3 x 19
	MPP 2:
	3 x 19
	MPP 3:
	3 x 19
<b>AC Şebekesi</b>	
Fazların sayısı	3
Şebeke gerilimi (tek fazlı)	230 V
Güç faktörü (cos phi)	+/- 1

Şekil 3.33 Mersin Stadı Evirici Seçimi Ve Ufuk Çizgisi Açısı

Simülasyon sonuçları Şekil 3.34'te gösterilmektedir. Yıllık 1.828.143 kWh güç ile şebekeyi besleyen sistemin 1 yılda 1.096.886 kg karbondioksit emisyonu gerçekleştirdiği görülmektedir.

#### Simülasyon sonuçları

##### PV sistemi

PV jeneratör performansı	1111,5 kWp
Özel yıllık gelir	1.644,75 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	88,7 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	1,3 %/Yıl

Şebeke besleme	1.828.143 kWh/Yıl
Şebeke besleme ilk yıl içinde (dahil modül düşüşü)	1.828.143 kWh/Yıl
Standby tüketimi (İnvertörler)	89 kWh/Yıl
Kaçınılan CO <sub>2</sub> emisyonu	1.096.886 kg/Yıl



Şekil 3.34 Mersin Stadı'na Ait Simülasyon Sonuçları

Analizi yapılan sistemin enerji bilançosu Şekil 3.35'te detaylı olarak gösterilmektedir.

**PV sistemi enerji bilançosu**

<b>Toplam yatay ışın</b>	<b>1.681,0 kWh/m<sup>2</sup></b>	
Standart spektrumdan sapma	-16,81 kWh/m <sup>2</sup>	-1,00 %
Toprak yansıtması (Albedo)	22,30 kWh/m <sup>2</sup>	1,34 %
Modül düzeyinin oryantasyonu ve eğilimi	169,29 kWh/m <sup>2</sup>	10,04 %
Modülden bağımsız gölgeleme	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	0,00 %
Modül yüzeyine yansım	-15,17 kWh/m <sup>2</sup>	-0,82 %
<b>Modül üzerine toplam ışın</b>	<b>1.840,6 kWh/m<sup>2</sup></b>	

$$\begin{aligned} & 1.840,6 \text{ kWh/m}^2 \\ & \times 6676,72 \text{ m}^2 \\ & = 12.288.972,3 \text{ kWh} \end{aligned}$$

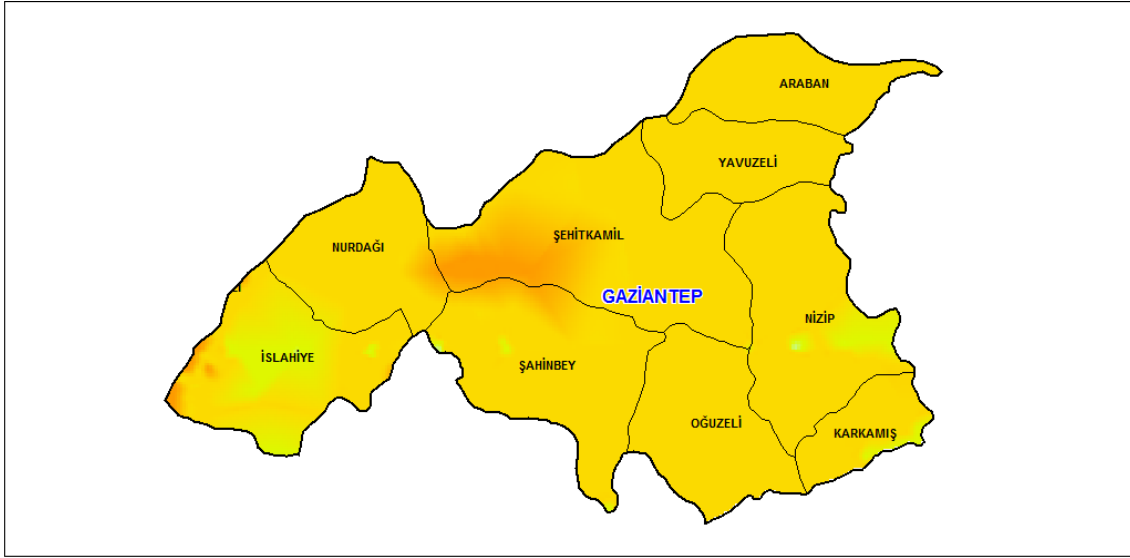
<b>PV toplam ışın</b>	<b>12.288.972,3 kWh</b>	
Kirlenme	0,00 kWh	0,00 %
STC dönüştürme (Modül nominal etkinlik oranı 16,64 %)	-10.244.058,31 kWh	-83,36 %
<b>PV nominal enerji</b>	<b>2.044.913,9 kWh</b>	
modüle özgü kısmı gölgeleme	-21.415,90 kWh	-1,05 %
Düşük ışık davranışı	-28.384,11 kWh	-1,40 %
Nominal modül ısından sapma	-79.750,76 kWh	-4,00 %
Diyotlar	-287,98 kWh	-0,02 %
Mismatch (üretici bilgileri)	-38.301,50 kWh	-2,00 %
Mismatch (ara bağlantı / ölçme)	-3.231,24 kWh	-0,17 %
<b>İnvertör/düzenleyici olmadan PV-enerji (DC)</b>	<b>1.873.542,4 kWh</b>	
DC Başlangıç performansının alması	-165,72 kWh	-0,01 %
MPP-çerçim alanı sebebiyle düzenleme	-1.081,12 kWh	-0,06 %
Maks. DC Akımı sebebiyle düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. DC Performans sebebiyle düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. AC Performans/cos phi sebebiyle düzenleme	-963,04 kWh	-0,05 %
MPP Adaptasyon	-4.203,75 kWh	-0,22 %
<b>PV-enerji (DC)</b>	<b>1.867.128,8 kWh</b>	
<b>WR Girişinde bulunan enerji</b>	<b>1.867.128,8 kWh</b>	
Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma	-2.939,02 kWh	-0,16 %
DC/AC dönüşümü	-36.046,40 kWh	-1,93 %
Standby tüketimi (İnvertörler)	-88,73 kWh	0,00 %
Toplam kablo kayıpları	0,00 kWh	0,00 %
<b>Standby kullanımı hariç PV enerji (AC)</b>	<b>1.828.054,6 kWh</b>	
<b>Şebeke besleme</b>	<b>1.828.143,4 kWh</b>	

**Şekil 3.35 Mersin Stadı PV Sistem Enerji Bilançosu**

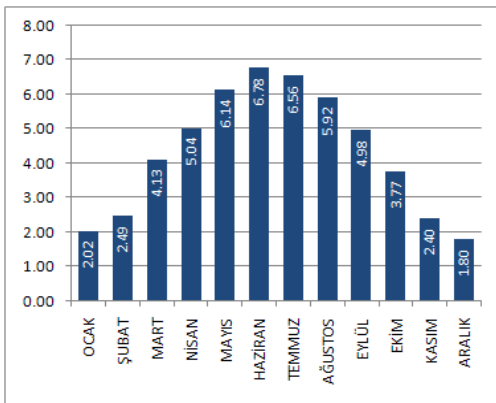
### 3.2.3 Gaziantep stadı

36° 28' ve 38° 01' doğu boylamları ile 36° 38' ve 37° 32' kuzey enlemleri arasında yer alan Gaziantep 622.200 hektarlık alanıyla Türkiye topraklarının yaklaşık olarak %1'lik bölümünü kapsamaktadır. Akdeniz ve kara ikliminin geçiş noktasında yer alan ilin güney kesimleri, Akdeniz ikliminin etkisindedir.

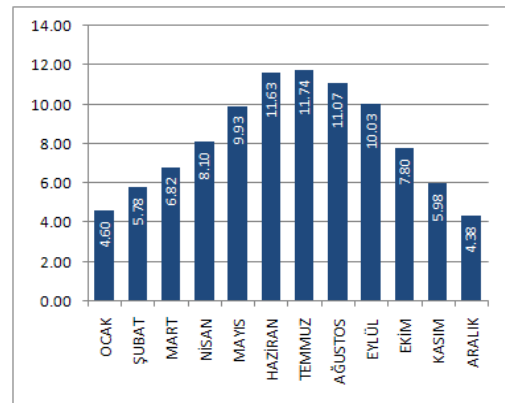
Şekil 3.36'da Gaziantep iline ait güneş enerji atlası, Şekil 3.37'de ise global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir



Şekil 3.36 Gaziantep İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası



(a)



(b)

Şekil 3.37 (a) Gaziantep Global Radyasyon Değerleri (Kwh/M2-Gün), (b) Gaziantep Güneşlenme Süreleri (Saat)

### 3.2.3.1 PVSYST ile analiz

PvSyst programında, analizin yapılacağı yerin coğrafi bilgileri Şekil 3.38’de sistem simülasyon parametreleri olarak görülmektedir.

Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	gaziantep		
Geographical Site	Gaziantep	Country	Turkey
Situation	Latitude 37.12° N	Longitude	37.38° E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+3	Altitude	907 m
	Albedo	0.20	
Meteo data:	Gaziantep	Meteonorm 7.1 (2003-2010) - Synthetic	
<hr/>			
Simulation variant :	gaziantep		
	Simulation date	10/04/18 12h08	
<hr/>			
Simulation parameters	System type	No 3D scene defined	
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth 0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		

Şekil 3.38 Gaziantep Stadı’na Ait Simülasyon Parametreleri

Şekil 3.39’da sistemde kullanılmış olan PV modül ve eviricilerin karakteristik özellikleri gösterilmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere PV modül ve evirici seçimi sistemin tasarımı açısından en önemli etkenlerdir.

PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	CS6X - 325P-FG	
Original PVsyst database		Manufacturer	Canadian Solar Inc.	
Number of PV modules		In series	18 modules	In parallel 180 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	3240	Unit Nom. Power 325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	1053 kWp	At operating cond. 944 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	595 V	I mpp 1586 A
Total area		Module area	6325 m²	Cell area 5678 m²
<hr/>				
Inverter		Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	
Original PVsyst database		Manufacturer	ABB	
Characteristics		Operating Voltage	300-950 V	Unit Nom. Power 50.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	18 units	Total Power 900 kWac Pnom ratio 1.17

Şekil 3.39 Gaziantep Stadı PV Modül ve Eviricilerin Karakteristik Özellikleri

Sistemlerin kayıp analizinin yapılmasının önemine değinilmişti. Gaziantep Stadı'nda da yapılan analizlerde de aynı bilgiler geçerlidir.

Şekil 3.40'da görüldüğü gibi açı azaldıkça kayıp oranı artmaktadır. Ayrıca Şekil 3.40'da sistemin PV dizi kayıp değerleri gösterilmektedir.

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.3 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.4 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction	0.10 %

Incidence effect (IAM): User defined IAM profile

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.988	0.970	0.917	0.763	0.000

**Şekil 3.40** Gaziantep Stadı PV Dizi Kayıp Değerleri

Şebekeye bağlı olarak tasarlanmış sistemin simülasyon sonuçları Şekil 3.41'de görülmektedir. Ayrıca yine Şekil 3.41'de görülen grafiklerde kayıplar ve sistemin ürettiği enerji ile birlikte performans oranı gösterilmektedir. Şekil 3.41'deki ilk grafikte mavi renkle gösterilen alan PV-dizi kayıplarını, yeşil renkle gösterilen alan sistem kayıplarını ve bordo renkle gösterilen alan ise üretilen kullanılabilir enerjiyi aylara göre göstermektedir. İkinci grafik ise aylara göre üretilen kullanılabilir enerjinin, kayıplar göz önünde bulundurularak üretilen toplam enerjiye oranı olan performans oranını göstermektedir.

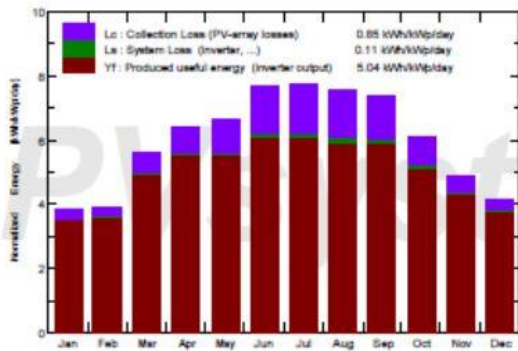
## Grid-Connected System: Main results

Project : gaziantep

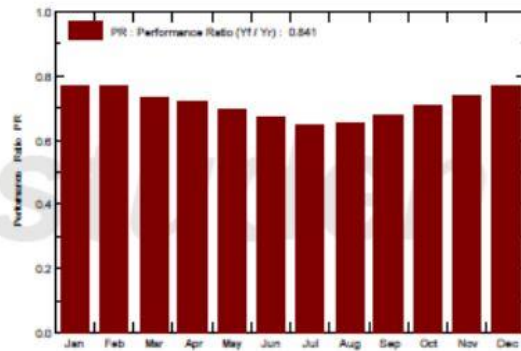
Simulation variant : gaziantep

Main system parameters		System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6X - 325P-FG	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	3240	Pnom total	1053 kWp
Inverter	Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	18.0	Pnom total	900 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			
Main simulation results				
System Production	Produced Energy	1936 MWh/year	Specific prod.	1838 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	84.08 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1053 kWp



Performance Ratio PR



Şekil 3.41 Gaziantep Stadı Sistem Simülasyon Sonuçları

Şekil 3.42'de aylara göre simülasyon değerleri gösterilmektedir. Sırasıyla küresel yatay ışınım, yatay dağılık ışınım, ortam sıcaklığı, toplanma yüzeyindeki küresel ışınım yükü, gölgelenme verilerine göre ulaşılmış yansıma kayıpları, dizilere ait efektif enerji, şebekeyi besleyen enerji ve performans oranıdır.

gaziantep  
Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	73.2	25.70	3.36	118.1	116.0	116.8	114.7	0.922
February	82.3	40.75	4.98	110.1	107.9	108.5	106.6	0.920
March	143.0	46.89	9.76	174.3	171.2	163.4	160.3	0.873
April	179.3	65.28	13.92	192.3	188.4	178.3	174.8	0.863
May	212.5	70.02	19.68	206.1	201.3	184.4	180.6	0.832
June	246.2	54.69	25.68	228.9	223.7	197.5	193.0	0.801
July	253.8	50.42	30.13	240.7	235.4	202.6	197.9	0.781
August	226.5	49.19	29.36	234.6	230.0	198.2	193.6	0.784
September	183.9	39.78	23.79	220.0	216.4	191.3	187.0	0.807
October	136.2	37.71	18.11	188.3	185.3	171.0	167.6	0.845
November	92.0	29.37	9.88	145.5	143.1	138.7	136.2	0.889
December	73.7	23.67	4.89	127.4	125.2	125.4	123.2	0.919
Year	1902.4	533.46	16.20	2186.2	2143.8	1976.0	1935.5	0.841

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

**Şekil 3.42** Gaziantep Stadı Aylara Göre Simülasyon Değerleri

Sistemdeki tüm kayıpların gösterildiği Şekil 3.43'te kayıplar % değerler olarak ifade edilmiştir. Yıllık üretimdeki toplam kayıp ve kazançların gösterildiği diyagramda ilk olarak yatay küresel ışınım değeri 1.902 kWh/m<sup>2</sup> olarak gösterilmiştir. Toplanma yüzeyindeki küresel ışınım yükü ve güneş ışınlarının geliş açısına bağlı yansımaya kayıplarının azaltılmasıyla toplayıcılardaki etkili ışınım oranı 2.256 kWh/m<sup>2</sup> olarak görülmektedir. Daha sonra dizilerde oluşan termal kayıplar, kablo dirençlerine bağlı kayıplar, modüllerin karakteristik özellikleri gerçekte farklılık göstereceğinden devreden geçen akımlardaki farklılıktan kaynaklanarak oluşan kayıplar ve üreticiye bağlı olarak modül toleransı ile oluşan kayıp ya da kazançlar dikkate alındığında 1.977 MWh'lik bir üretim görülmektedir. Sonrasında görülen kısım evirici kayıplarını göstermekte ve bu kayıplardan sonra sistemin tüm kayıpları hesaplanmış olup şebekeyi beslediği değer elde edilecektir. Bu değer de 1.936 MWh'tir.

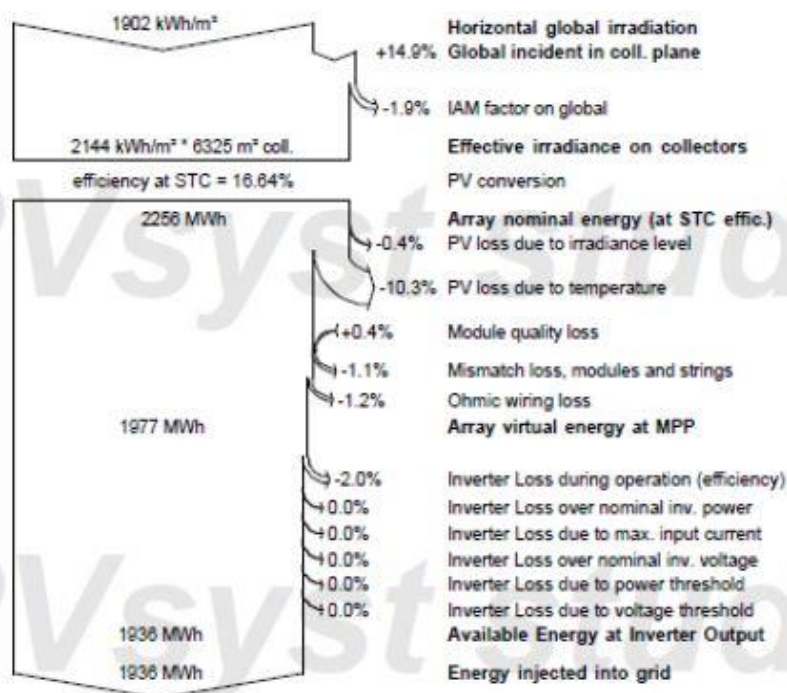
### Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **gaziantep**

Simulation variant : **gaziantep**

<b>Main system parameters</b>	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6X - 325P-FG	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	3240	Pnom total	1053 kWp
Inverter	Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	Pnom	50.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	18.0	Pnom total	900 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



Şekil 3.43 Gaziantep Stadı Sistem Kayıp Diyagramı

### 3.2.3.2 PVSOL ile analiz

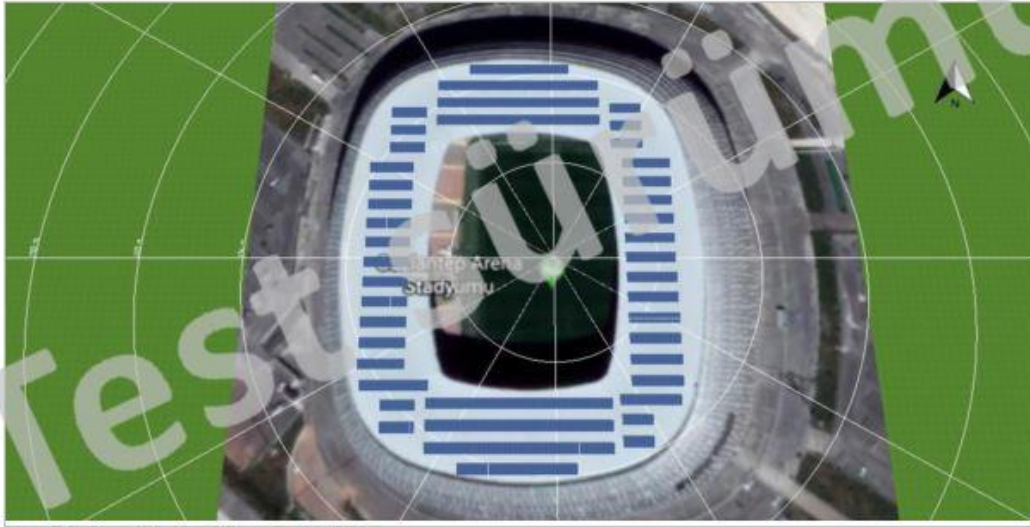
Gaziantep Stadı'na ait sistemin şebeke bağlantısı ve büyüklüğü ile ilgili bilgiler Şekil 3.44'te gösterilmektedir.



Şekil 3.44 Gaziantep Stadı Şebekeye Bağlı Sistem Parametreleri

Sistemin kurulacağı bölgenin iklim koşulları ve kullanılan panellerin teknik özelliklerinin gösterildiği Şekil 3.45'te, genel yerleşim planı da görülmektedir.

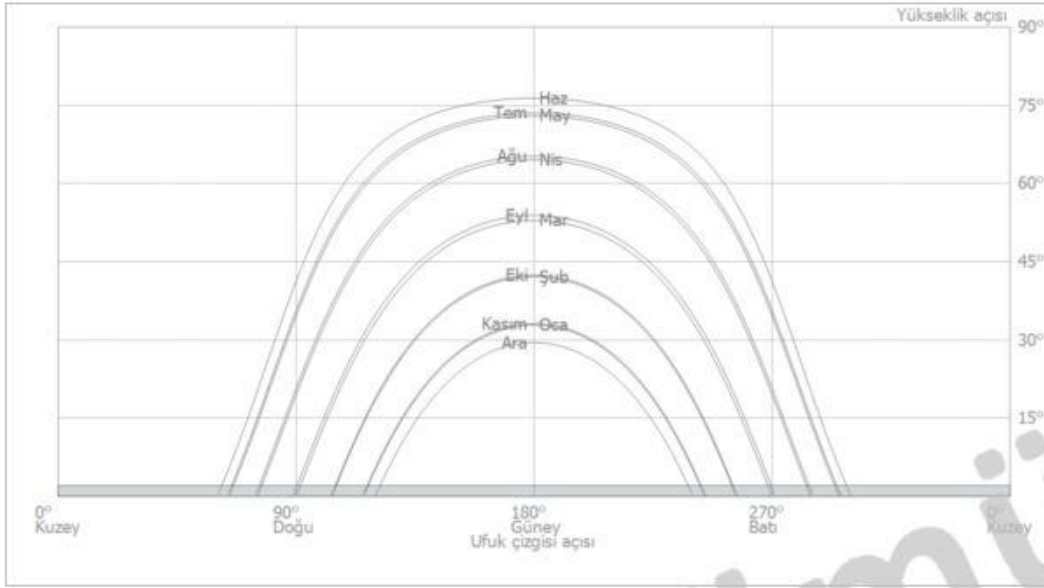
Sistemin kurulumu	
İklim bilgileri	Gaziantep, TUR (2006 - 2013)
Verilerin özünürlüğü	1 h
Ek türü	3D, Şebekeye bağlı PV sistemi
Kullanılan simülasyon modelleri	
Yatayda yayılmış radyasyon	Hofmann
Eğimli alana ışınlama	Hay & Davies
PV jeneratörü Modül yüzeyi	
İsim	Open Area (Map Section)-Area South
PV modülleri*	3420 x CS6X-325P-FG
Üretici	Canadian Solar Inc.
Eğim	15 °
Oryantasyon	Güney 180 °
Montaj durumu	yükseltilmiş boş alan
PV jeneratör yüzeyi	6.676,7 m <sup>2</sup>



Resim: Open Area (Map Section)-Area South için 3D planı

**Şekil 3.45** Gaziantep Stadi Sistem Kurulum Bilgileri

Sistemin önemli bileşenlerinden olan evirici seçimi ve bölgeye göre ufuk çizgisi açısı Şekil 3.46'da gösterilmektedir.



Resim: Ufuk çizgisi den/dan Open Area (Map Section)-Area South

**İnvertörler**

**Modül yüzeyi**

İnvertörler 1\*

Üretim

Ara bağlantı

**Open Area (Map Section)-Area South**

20 x TRIO-50.0-TL-OUTD

ABB

MPP 1:

9 x 19

**AC Şebekesi**

Fazların sayısı

3

Şebeke gerilimi (tek fazlı)

230 V

Güç faktörü (cos phi)

+/- 1

**Şekil 3.46** Gaziantep Stadı Evirici Seçimi Ve Ufuk Çizgisi Açısı

Simülasyon sonuçları Şekil 3.47’de gösterilmektedir. Yıllık 2.003.026 kWh güç ile şebekeyi besleyen sistemin 1 yılda 1.201.816 kg karbondioksit emisyonu gerçekleştirdiği görülmektedir.

### Simülasyon sonuçları

#### PV sistemi

PV jeneratör performansı	1111,5 kWp
Özel yıllık gelir	1.802,09 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	87,9 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	1,0 %/Yıl
Şebeke besleme	2.003.026 kWh/Yıl
Şebeke besleme ilk yılı içinde (dahil modül düşüşü)	2.003.027 kWh/Yıl
Standby tüketimi (İnvertörler)	88 kWh/Yıl
Kağırlan CO <sub>2</sub> emisyonu	1.201.816 kg/Yıl



Şekil 3.47 Gaziantep Stadı'na Ait Simülasyon Sonuçları

Analizi yapılan sistemin enerji bilançosu Şekil 3.48'de detaylı olarak gösterilmektedir.

PV sistemi enerji bilançosu		
<b>Toplam yatay ışın</b>	<b>1.902,8 kWh/m<sup>2</sup></b>	
Standart spektrumdan sapma	-19,03 kWh/m <sup>2</sup>	-1,00 %
Toprak yansıtması (Albedo)	6,42 kWh/m <sup>2</sup>	0,34 %
Modül düzeyinin oryantasyonu ve eğilimi	161,26 kWh/m <sup>2</sup>	8,53 %
Modülden bağımsız gölgeleme	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	0,00 %
Modül yüzeyine yansım	-18,83 kWh/m <sup>2</sup>	-0,92 %
<b>Modül üzerine toplam ışın</b>	<b>2.032,6 kWh/m<sup>2</sup></b>	
	2.032,6 kWh/m <sup>2</sup>	
	x 6676,72 m <sup>2</sup>	
	= 13.571.245,1 kWh	
<b>PV toplam ışın</b>	<b>13.571.245,1 kWh</b>	
Kirlenme	0,00 kWh	0,00 %
STC dönüşürme (Modül nominal etkinlik oranı 16,64 %)	-11.312.957,92 kWh	-83,36 %
<b>PV nominal enerji</b>	<b>2.258.287,2 kWh</b>	
modüle özgü kısmı gölgeleme	-16.039,53 kWh	-0,71 %
Düşük ışık davranışı	-33.534,66 kWh	-1,50 %
Nominal modül ısısından sapma	-113.392,95 kWh	-5,13 %
Diyotlar	-224,75 kWh	-0,01 %
Mismatch (üretici bilgileri)	-41.901,91 kWh	-2,00 %
Mismatch (ara bağlantı / ölçeleme)	-2.414,41 kWh	-0,12 %
<b>İnvertör düzenleyici olmadan PV-enerji (DC)</b>	<b>2.050.779,0 kWh</b>	
DC Başlangıç performansının alması	-137,24 kWh	-0,01 %
MPP-gerilim alanı sebebiyle düzenleme	-1.271,02 kWh	-0,06 %
Maks. DC Akımı sebebiyle düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. DC Performans sebebiyle düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. AC Performans/cos phi sebebiyle düzenleme	-361,49 kWh	-0,02 %
MPP Adaptasyon	-4.284,11 kWh	-0,21 %
<b>PV-enerji (DC)</b>	<b>2.044.725,1 kWh</b>	
<b>WR Girişinde bulunan enerji</b>	<b>2.044.725,1 kWh</b>	
Giriş ve nominal gerilim arasındaki sapma	-3.084,22 kWh	-0,15 %
DC/AC dönüşümü	-38.614,39 kWh	-1,89 %
Standby tüketimi (İnvertörler)	-88,02 kWh	0,00 %
Toplam kablo kayıpları	0,00 kWh	0,00 %
<b>Standby kullanımı hariç PV enerji (AC)</b>	<b>2.002.938,5 kWh</b>	
<b>Şebeke besleme</b>	<b>2.003.026,5 kWh</b>	

Şekil 3.48 Gaziantep Stadi PV Sistem Enerji Bilançosu

## **4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **4.1. Simülasyon Sonuçları Analizi**

Alanya Stadı simülasyon sonuçlarını incelediğinde PVsyst programına göre yıllık 1.283 MWh'lik şebeke beslemesi yapılacağı öngörülürken bu değer PVsol programında yıllık 1.325 MWh'tir.

Mersin stadı simülasyon sonuçlarını karşılaştırıldığında PVsyst programına göre yıllık 1.773 MWh'lik şebeke beslemesi yapılacağı öngörülürken bu değer PVsol programında yıllık 1.828 MWh'tir. Atmosfere 1.096.886 kg kadar karbondioksit emisyonu katılımı engellenmesini sağlar.

Gaziantep stadı verilerine bakacak olursak PVsyst programına göre yıllık 1.936 MWh'lik şebeke beslemesi yapılacağı öngörülürken bu değer PVsol programında yıllık 2.003 MWh'tir. Atmosfere 1.096.886 kg kadar karbondioksit emisyonu katılımı engellenmesini sağlar.

İki farklı programda analiz yaptığımızda üretim öngörülerini karşılaştıracak olursak PVsyst programı PVsol programına göre daha az üretim öngörmektedir. Toplam yatay ışınım değerlerini aynı almalarına rağmen kayıp hesaplamaları birbirinden farklıdır. Yıllık üretimdeki öngörü farkı kayıp hesaplamalarında oluşan farklılıktır.

Mersin ve Gaziantep stadyumlarında kurulması planlanan sistemlerin her ikisi de 1 MW kurulu güce sahip olan sistemler olmasına rağmen, yıllık üretim öngörülerinin farklı olması buldukları coğrafi konumun etkisi sebebiyledir.

### **4.2. Ekonomik Analiz**

Tesislerin tek hat şemalarından yola çıkılarak kurulum maliyetleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir. Mersin Stadyumu ve Gaziantep Stadyumu kurulu güçleri aynı olduğu için ortak bir çalışma yapılmış ve bu çalışma Tablo 4.1'de detaylandırılmıştır. Alanya Stadyumu için yapılan ilk yatırım giderleri çalışması ise, Tablo 4.2'de görülmektedir.

**Tablo 4.1** Mersin Stadyumu ve Gaziantep Stadyumu'na Ait Ekonomik Analiz.

Bileşen	Miktar	Birim	Birim Fiyat (\$)	Tutar
Panel (canadian solar 325W)	3.420	adet	152,75	<b>\$522.405,00</b>
İnverter (abb trio 50)	18	adet	5.000	<b>\$90.000,00</b>
<b>ANA DAĞITIM PANOSU</b>				
Tek Yönlü Aktif Reaktif Sayaç	1	adet	500	<b>\$500,00</b>
Motorlu Termik Manyetik Şalter 3x4000A 65kA	1	adet	160	<b>\$160,00</b>
Termik Manyetik Şalter 4x100A 36kA	18	adet	100	<b>\$1.800,00</b>
3x1600/5 Troidal Akım Trafosu (10VA)	2	adet	35	<b>\$70,00</b>
Arayüz Koruma Rölesi THYTRONİC NV10P	1	adet	300	<b>\$300,00</b>
40kvar Sabit Kademe	1	adet	100	<b>\$100,00</b>
Termik Manyetik Şalter 4x125A 36kA	1	adet	120	<b>\$120,00</b>
Parafadur Tip I+II 230/400 V, 20/40 kA	1	adet	1.000	<b>\$1.000,00</b>
<b>TRAFO BİNASI BİLEŞENLERİ</b>				
Trafo (31,5/0,4 kV, 1250kVA, Dyn11,Hermetik tip)	1	adet	18.850	<b>\$18.850,00</b>
Çift Yönlü Aktif Reaktif Sayaç	2	adet	650	<b>\$1.300,00</b>
Akü Redresör Grubu 24 V	1	adet	1.000	<b>\$1.000,00</b>
Motorlu Yük Ayırıcılı Giriş-Çıkış Hücresi	1	adet	2.850	<b>\$2.850,00</b>
Kesicili Trafo Koruma Hücresi	1	adet	9.350	<b>\$9.350,00</b>
Akım Gerilim Ölçüm Hücresi	1	adet	2.150	<b>\$2.150,00</b>
Trafo beton köşk	1	adet	5.000	<b>\$5.000,00</b>
<b>DM BİLEŞENLERİ</b>				
Akü Redresör Grubu 24 V	1	adet	1.000	<b>\$1.000,00</b>
Kesicili Çıkış Hücresi	3	adet	6.500	<b>\$19.500,00</b>
Kesicili Giriş Hücresi	1	adet	6.000	<b>\$6.000,00</b>
İç İhtiyaç Trafosu (50 kVA, 31.5/0.4 kV)	1	adet	3.750	<b>\$3.750,00</b>
İç İhtiyaç Trafo Koruma Hücresi	1	adet	3.800	<b>\$3.800,00</b>

<b>OG Koruma Rölesi THYTRONİC NVA100</b>	1	adet	1.000	<b>\$1.000,00</b>
<b>beton köşk (DM)</b>	1	adet	5.500	<b>\$5.500,00</b>
<b>KABLOLAR</b>				
<b>PV1-F 6 mm<sup>2</sup> Solar Kablo</b>	20.000	metre	1,36	<b>\$27.200,00</b>
<b>1x50 mm<sup>2</sup> NYK Kablo</b>	10.000	metre	6,17	<b>\$61.700,00</b>
<b>1x240 mm<sup>2</sup> NYFGbY</b>	100	metre	62	<b>\$6.200,00</b>
<b>1x95/16 mm<sup>2</sup> XLPE İZOLELİ N2XS</b>	50	metre	18	<b>\$900,00</b>
<b>1x50/16 mm<sup>2</sup> XLPE İZOLELİ N2XS</b>	50	metre	11	<b>\$550,00</b>
<b>1x240/16 mm<sup>2</sup> XLPE İZOLELİ YE3SV</b>	50	metre	40	<b>\$2.000,00</b>
<b>Konnektörler</b>	6.840	adet	5	<b>\$34.200,00</b>
<b>Kablo Tavası 100mm</b>	1.500	metre	2,2	<b>\$3.300,00</b>
<b>işçilik ve devreye alma</b>	1	adet	20.000	<b>\$20.000,00</b>
<b>konstrüksiyon</b>	6.800	metrekar e	15	<b>\$102.000,00</b>
<b>Topraklama</b>	1.500	metre	1	<b>\$1.500,00</b>
<b>öngörülemeyen giderler</b>	1	adet	20.000	<b>\$20.000,00</b>
<b>nakliye</b>	1	adet	10.000	<b>\$10.000,00</b>
<b>toplam</b>				<b>\$987.055,00</b>

Tesislerin günde ortalama 4 saat güneşlendiği varsayılarak yapılan hesaplamalarda 1 MW'lık iki tesis için her biri yıllık 1.460.000 kWh'lik, 700 kW'lık tesis için ise 1.022.000 kWh'lik bir üretim öngörülmektedir.

Devlet alım tarifesi ise 0,133 ABD\$/kWh'tir. Bu durumda 1 MW'lık tesisler yıllık \$194.180 ve 700 kW'lık tesis ise \$135.926 satış yapmaktadır. Tesislerin ilk yatırım bedelli dikkate alındığında Mersin ve Gaziantep'te kurulan tesisler kendilerini 5,08 yılda amorti ederken Alanya'da kurulan tesis ise 5,51 yılda kendimi amorti eder.

**Tablo 4.2** Alanya Stadı'na Ait Ekonomik Analiz

<b>Bileşenler</b>	<b>Miktar</b>	<b>Birim</b>	<b>Birim Fiyat(\$)</b>	<b>Tutar</b>
<b>Panel (canadian solar 325W)</b>	2.394	adet	152,75	<b>\$365.683,50</b>
<b>İnverter (abb trio 50)</b>	14	adet	5.000	<b>\$70.000,00</b>
<b>ANA DAĞITIM PANOSU</b>				
<b>Tek Yönlü Aktif Reaktif Sayaç</b>	1	adet	500	<b>\$500,00</b>
<b>Motorlu Termik Manyetik Şalter 3x4000A 65kA</b>	1	adet	160	<b>\$160,00</b>
<b>Termik Manyetik Şalter 4x100A 36kA</b>	14	adet	100	<b>\$1.400,00</b>
<b>3x1600/5 Troidal Akım Trafosu (10VA)</b>	2	adet	35	<b>\$70,00</b>

<b>Arayüz Koruma Rölesi THYTRONİC NV10P</b>	1	adet	300	<b>\$300,00</b>
<b>40kvar Sabit Kademe</b>	1	adet	100	<b>\$100,00</b>
<b>Termik Manyetik Şalter 4x125A 36kA</b>	1	adet	120	<b>\$120,00</b>
<b>Parafadur Tip I+II 230/400 V, 20/40 kA</b>	1	adet	1.000	<b>\$1.000,00</b>
<b>TRAFO BİNASI BİLEŞENLERİ</b>				
<b>Trafo (31,5/0,4 kV, 1250kVA, Dyn11,Hermetik tip)</b>	1	adet	18.850	<b>\$18.850,00</b>
<b>Çift Yönlü Aktif Reaktif Sayaç</b>	2	adet	650	<b>\$1.300,00</b>
<b>Akü Redresör Grubu 24 V</b>	1	adet	1.000	<b>\$1.000,00</b>
<b>Motorlu Yük Ayrıcılı Giriş-Çıkış Hücresi</b>	1	adet	2.850	<b>\$2.850,00</b>
<b>Kesicili Trafo Koruma Hücresi</b>	1	adet	9.350	<b>\$9.350,00</b>
<b>Akım Gerilim Ölçüm Hücresi</b>	1	adet	2.150	<b>\$2.150,00</b>
<b>Trafo beton köşk</b>	1	adet	5.000	<b>\$5.000,00</b>
<b>DM BİLEŞENLERİ</b>				
<b>Akü Redresör Grubu 24 V</b>	1	adet	1.000	<b>\$1.000,00</b>
<b>Kesicili Çıkış Hücresi</b>	3	adet	6.500	<b>\$19.500,00</b>
<b>Kesicili Giriş Hücresi</b>	1	adet	6.000	<b>\$6.000,00</b>
<b>İç İhtiyaç Trafosu (50 kVA, 31.5/0.4 kV)</b>	1	adet	3.750	<b>\$3.750,00</b>
<b>İç İhtiyaç Trafo Koruma Hücresi</b>	1	adet	3.800	<b>\$3.800,00</b>
<b>OG Koruma Rölesi THYTRONİC NVA100</b>	1	adet	1.000	<b>\$1.000,00</b>
<b>beton köşk (DM)</b>	1	adet	5.500	<b>\$5.500,00</b>
<b>KABLolar</b>				
<b>PV1-F 6 mm2 Solar Kablo</b>	18.000	metre	1,36	<b>\$24.480,00</b>
<b>1x50 mm2 NYY Kablo</b>	9.000	metre	6,17	<b>\$55.530,00</b>
<b>1x240 mm<sup>2</sup> NYFGbY</b>	100	metre	62	<b>\$6.200,00</b>
<b>1x95/16 mm<sup>2</sup> XLPE İZOLELİ N2XS</b>	50	metre	18	<b>\$900,00</b>
<b>1x50/16 mm<sup>2</sup> XLPE İZOLELİ N2XS</b>	50	metre	11	<b>\$550,00</b>
<b>1x240/16 mm<sup>2</sup> XLPE İZOLELİ YE3SV</b>	50	metre	40	<b>\$2.000,00</b>
<b>Konektörler</b>	4.788	adet	5	<b>\$23.940,00</b>
<b>Kablo Tavası 100mm</b>	1.500	metre	2,2	<b>\$3.300,00</b>
<b>Topraklama</b>	1.500	metre	1	<b>\$1.500,00</b>
<b>İşçilik ve Devreye Alma</b>	1	adet	10.000	<b>\$10.000,00</b>
<b>Konstrüksiyon</b>	4.700	metre kare	15	<b>\$70.500,00</b>
<b>Öngörülemeyen Giderler</b>	1	adet	10.000	<b>\$10.000,00</b>
<b>Nakliye</b>	1	adet	10.000	<b>\$10.000,00</b>
<b>toplam</b>				<b>\$739.283,50</b>

### 4.3 Türkiye Değerlendirmesi

Tablo 4.3'te belirtildiği gibi ülkemizde iki stadyumda güneş enerjisi sistemi bulunmaktadır. Bu stadyumlar Sivas 4 Eylül Stadyumu ve Antalya Stadyumu'dur. İkisinde de tesis stadyumun yapım aşamasında kurulmuştur. Güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu bazı yerlerden Konya, Alanya, Mersin ve Gaziantep Stadyumu enerji üretim tesisi olarak değerlendirilebilir. Afyon, Eskişehir ve Kayseri'de bulunan stadyumlar ise çatılarındaki mimari yapılar nedeniyle fotovoltaik bir sistem için uygun değildir.

**Tablo 4.3** Türkiye'de Bulunan Bazı Stadyumların Fotovoltaik Sisteme Uygunluğu

Güneş enerji sistemi bulunan stadyumlar	Sivas 4 Eylül Stadyumu Antalya Stadyumu
Güneş enerji potansiyeli yüksek olan ve sistem için uygun olan stadyumlar	Konya Büyükşehir Stadyumu Alanya Bahçeşehir Okulları Arena Mersin Stadyumu Gaziantep Stadyumu
Güneş enerji potansiyeli yüksek olan ancak sistem için uygun olmayan stadyumlar	Afyon Arena Stadyumu Eskişehir Yeni Atatürk Stadyumu Kayseri Kadir Has Şehir Stadyumu

## 5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında üç farklı ilde bulunan üç stadyumun çatısı üzerine entegre fotovoltaik güç sistemlerinin teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır.

Alanya, Mersin ve Gaziantep Stadyumu örnek olarak incelendiğinde; stadyumların etraflarında gölgelenme yapacak herhangi bir yapının olmaması, çatı ve otopark alanlarının mimari açıdan tesis için uygun olması, çatılarının yaklaşık 10.000 m<sup>2</sup>'den büyük alanlar kaplıyor oluşları nedeniyle bu stadyumlar enerji üretim tesisi olarak değerlendirilebilecek potansiyel alanlardır.

6.446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun 14. Maddesi, lisans almadan kurulu gücü azami 1 MW'lık yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurulmasına onay vermektedir. Bu sebeple Mersin ve Gaziantep Stadyumları çatıları alan olarak daha büyük sistemlere elverişli olduğu halde sistemler 1 MW ile sınırlı tutulmuştur. Alanya Stadyumu'nda ise çatı alanı küçük olduğu için kurulu güç 700kW olmuştur.

Şebekeye satılan elektrik enerjisinin birim fiyatı yönetmelikte belirtildiği üzere 0,133 ABD\$/kWh'tir. Tablo 2.3'te belirtildiği gibi Türkiye'de ortalama güneşlenme süresi 7,2 saattir, fakat sistemler tasarlanırken günlük ortalama 4 saatlik bir güneşlenme olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. 365 günün sonunda üretilebilecek enerji hesaplanmış ve devletin alım garantili tarifesinde belirtilen fiyattan enerji satışı öngörülmüştür. Tesislerin ilk kurulum giderleri dikkate alındığında kendilerini amorti etme süreleri 5 ile 5,5 yıl arasında değişmektedir.

Çatılarda kurulan tesisler genellikle tesisin ihtiyacına yönelik olup öz tüketim gerçekleştirmekte, arazi uygulamalarında ise tesis ticari amaçlı olmaktadır. Stadyumlar bu kapsamda incelendiğinde, kurulan tesis öz tüketim için kurulursa, iç saha ve dış saha maçları düşünüldüğünde ortalama 15 günde bir gerçekleşen sportif faaliyet dışında kullanılmıyor oluşu dengeli bir tüketim değil, belli bir saatte fazla tüketime ve dolayısıyla kurulu gücü fazla olan bir tesise ihtiyaç duyulacağını göstermektedir. Müsabaka saatleri göz önünde tutulunca, tesislerin ayrıca depolama sistemlerine ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Bununla beraber tesisin büyüklüğü arazi tipi uygulama için daha elverişli olduğunu ve ticari amaçlı kullanıldığında daha karlı bir yatırım olduğu görülmektedir.

Türkiye'de Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2017 yılı sonu itibarıyla 3.616'dır. Ülkemiz Güneş enerji potansiyeli açısından zengin bir ülkedir. Futbol

stadyumlarının giderek arttığı ülkemizde bu atıl alanlar kullanılarak, enerji üretimine katkı sağlanabilir. Enerji ihtiyacının hızla arttığı günümüzde, yenilenebilir enerji tesislerinin sayılarını arttırmak hem ekonomik hem de çevre dostu olması sebebiyle önemli bir yöntemdir.

## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.radikal.com.tr/dunya/temiz-enerjinin-baskenti-freiburg-1096936/>, 12/07/2017
- [2] <http://www.scfreiburg.com/verein/daten-fakten/stadion> , 12/07/2017
- [3] <http://m.mlb.com/news/article/1853876>, 10/07/2017
- [4] <https://stadion.scfreiburg.com/baustelle/baustellen-cam/>, 12/12/2018
- [5] Shun Chen,C; Ting Hsu, C; Korimara, R; The Photovoltaic Generation System Impact On The Energy Demand Of A Small Island And Its Financial Analysis, Energy Procedia (2011) ,S: 411-417
- [6] Barua, S; Hossain, C,A; And Rahman,M ; Optimization Of Grid-Tied Distributed Microgrid System With Ev Charging Facility For The Stadiums Of Bangladesh, (Iceeict) 2015, Jahangirnagar University, Bangladesh, 21-23 May 2015
- [7] <http://www.archdaily.com/22520/taiwan-solar-powered-stadium-toyo-ito> , 13/07/2017
- [8] Hung Lin,C, Lin Hsieh,W; Shun Chen,C; Ting Hsu,C; Tien Ku,T; Ta Tsai,C; Financial Analysis Of A Large-Scale Photovoltaic System And Its Impact On Distribution Feeders, Ieee Transactions On Industry Applications, Vol. 47, No. 4, July/August 2011
- [9] <https://www.landmarkdividend.com/taiwan-builds-amazing-solar-powered-stadium/>, 05/12/2017
- [10] <http://www.nrg.com/renewables/projects/business/levis-stadium/> , 13/07/2017
- [11] [http://www.nrg.com/documents/renew/levis\\_stadium\\_fact\\_sheet.pdf](http://www.nrg.com/documents/renew/levis_stadium_fact_sheet.pdf), 13/07/2017
- [12] Monteiro,L.G.; Macedo,W.,N.; Torres ,P.,F.; Silva,M.,M.; Amaral,G; Piterman, A.,S.; Lopes, B.,M.; Fraga, J.,M.; Boaventura, W.,C.; One-Year Monitoring Pv Power Plant Installed On Rooftop Of Mineirão Fifaworld Cup/Olympics Football Stadium, Energies 2017, 10, 225
- [13]<http://www.turnerconstruction.com/experience/project/5F8E/levis-stadium>, 23/01/2018

- [14] <https://www.fc-hansa.de/technik.html> , 11/07/2017
- [15] <https://www.nrdc.org/sites/default/files/centurylink-case-study.pdf> , 11/07/2017
- [16] [http://www.go-green.ae/greenstory\\_view.php?storyid=770](http://www.go-green.ae/greenstory_view.php?storyid=770) , 05/07/2017
- [17] <http://www.wembleystadium.com/thestadium/stadiumguide/sustainability> , 05/07/2017
- [18] <http://www.scfreiburg.com/verein/daten-fakten/stadion> , 10/07/2017
- [19] [http://www.allianz-riviera.fr/fr/introduction/d% c3% a9veloppement-durable](http://www.allianz-riviera.fr/fr/introduction/d%c3%a9veloppement-durable) , 06/07/2017
- [20] [http://www.nba.com/warriors/news/warriors\\_unveil\\_solar\\_panels\\_012110.html](http://www.nba.com/warriors/news/warriors_unveil_solar_panels_012110.html) ,06/07/2017
- [21] [http://www.antalyaspor.com.tr/page/stadyum\\_0](http://www.antalyaspor.com.tr/page/stadyum_0) , 01/08/2017
- [22] <http://www.nrg.com/renewables/projects/business/lincoln-financial-field/> , 26/07/2017
- [23] <http://www.sporize.com/wp-content/uploads/2015/10/stat-tepe.jpg> , 10/08/2017
- [24] <http://www.patriots.com/news/2015/06/11/solar-tech-powers-fun-and-games-patriot-place> , 22/07/2017
- [25] <https://www.clarkconstruction.com/our-work/projects/fedexfield-solar-panel-installation> , 21/07/2017
- [26] <http://www.nrg.com/renewables/projects/business/fedexfield/> , 26/07/2017
- [27] <http://www.dlrgroup.com/work/fedex-field/> , 02/08/2017
- [28] <http://www.worldwideenergy.com/chiefs-add-solar/> , 01/08/2017
- [29] <http://arizona.diamondbacks.mlb.com/ari/ballpark/information/index.jsp?content=solar> , 12/07/2017
- [30] <https://electricalconnection.org/news/st-louis-cardinals-energize-busch-stadium-solar-power-first-time/> , 20/07/2017
- [31] <http://www.nwwindandsolar.com/solar-power-in-seattle-and-the-northwest/solar-at-safeco-field/> , 15/07/2017

- [32] <http://www.dlrgroup.com/work/metlife-stadium-solar-ring/> , 29/07/2017
- [33] <http://www.greenenergyohio.org/indians/contributors.html> , 21/07/2017
- [34] <http://www.worldwideenergy.com/chiefs-add-solar/> , 01/08/2017
- [35] <http://www.indianapolismotorspeedway.com/events/indy500/news-multimedia/news/2014/07/01/ims-solar-power-facility-opens> , 03/07/2017
- [36] <http://www.solar-facts-and-advice.com/coors-field.html> , 13/07/2017
- [37] <https://www.staplescenter.com/about/environment> , 13/07/2017
- [38] <https://www.rockymountainpower.net/about/nr/nr2015/rio-tinto-stadium-solar.html>, 13/07/2017
- [39] [http://www.nba.com/suns/news/solar\\_energy\\_120305.html](http://www.nba.com/suns/news/solar_energy_120305.html), 11/07/2017
- [40] <http://www.talkingstickresortarena.com/news/detail/travel-guidelines-for-us-airways-center-events-jan-29-31> , 11/07/2017
- [41] [http://www.kerngoldenempire.com/news/new-york-jets-install-nfls-largest-solar-power-system-at-team-hq\\_20150730144001288/178807234](http://www.kerngoldenempire.com/news/new-york-jets-install-nfls-largest-solar-power-system-at-team-hq_20150730144001288/178807234), 10/07/2017
- [42] <http://www.sonomaraceway.com/track/sustainability/sonoma-raceways-sustainable-performance-program.html> , 05/08/2017
- [43] <http://www.dlrgroup.com/work/nrg-houston-stadium-solar-installation/> , 05/08/2017
- [44] <https://www.sjearthquakes.com/post/2014/06/30/quakes-announce-petersendean-new-stadium-solar-partner> , 21/07/2017
- [45] <http://www.poconoraceway.com/pocono-raceway-solar-energy.html> , 01/07/2017
- [46] <http://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/elektrik>, 09/08/2018
- [47] Prof. Dr.Doğan İbrahim, Güneş Enerjisi Uygulamaları, Emo Yayın No: Ek/2011/1
- [48] <http://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/komur> , 05/09/2017
- [49] <https://www.dunyaenerji.org.tr/yenilenebilir-enerjiler-2018-kuresel-durum-raporu/> 11/11/2018
- [50] <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/yek/gunes/tgunes.html>, 10/11/2016
- [51] <http://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/gunes> , 10/11/2016

- [52] <http://www.eie.gov.tr/mycalculator/default.aspx>, 10/11/2016
- [53] A. Rezaee Jordehi, Parameter Estimation Of Solar Photovoltaic Cells: A Review, Renewable And Sustainable Energy Reviews, 2016.
- [54] Keskinel, S. Enerji Verimliliği Kapsamında Binalarda Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Uygulamalı Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2015
- [55] Hubert Seigneur, Nahidmohajeri, R.Paulbrooker, Kristophero.Davis, Eric J.Schneller, Neelkanthg.Dhere, Mariannep.Rodgers, Johnwohlgemuth, Narendras.Shiradkar, Giuseppescardera, Andrewc.Rudack, Winston V.Schoenfeld, Manufacturing Metrology For C-Si Photovoltaic Module Reliability And Durability, Part I: Feedstock, Crystallization And Wafering, Renewable And Sustainable Energy Reviews, 2016
- [56] Li, C. ; Yu, W. ; Techno- Economic Comparative Analysis Of Off-Grid Hybrid Photovoltaic/Diesel/Battery And Photovoltaic/Battery Power Systems For A Household İn Urumqi, China, Journal Of Cleaner Production, 2016
- [57][https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/na/Canadian\\_Solar-Datasheet-CS6XPFG\\_Dymond-v5.4na.pdf](https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/na/Canadian_Solar-Datasheet-CS6XPFG_Dymond-v5.4na.pdf) , 18.06.2017
- [58] [https://library.e.abb.com/public/4d8140daa2b24c7c9ca4a37638e153bc/TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480\\_Rev.G.pdf](https://library.e.abb.com/public/4d8140daa2b24c7c9ca4a37638e153bc/TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480_Rev.G.pdf), 18.06.2017
- [59] Ajder, A; Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2011
- [60] Çağlar, A; Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 22, Sayı 2, 849-854, 2018

## **EKLER**

**Ek 1: Gaziantep ve Mersin Stadyumları İçin Tek Hat Şeması**

**Ek 2: Alanya Stadyumu İçin Tek Hat Şeması**

## ÖZGEÇMİŞ

Ad : Ezgi

Soyad: Arslan Tuncar

Uyruk :TC

Doğum Tarihi: 19/09/1987

Doğum Yeri: İstanbul

İletişim: ezgi.arslan.tuncar@gmail.com

### Eğitim Bilgileri

2019, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Yüksek Lisans Programı , İstanbul

2014, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya

2005, Vefa Lisesi, İstanbul

### Akademik Yayınlar

Oral, B., Arslan Tuncar, E., Stadyumların Çatılarına Entegre Fotovoltaik Güç Sistemleri: Sürdürülebilirlik Ve Enerji Ekonomisi, 8. International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 2017

Oral, B., Arslan Tuncar, E., Evaluation Of Stadiums In Urban Areas For Photovoltaic Potential: A Case Study ,Academic Journal Of Science, ISSN: 2165-6282 :: 08(01):89–100 (2018)

