

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE VERİMLİLİĞİ
ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF EFFICIENCY FACTORS IN
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**

SİNAN ŞİMŞEK

PROF. DR. NECDET BAŞTÜRK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz-Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

SİNAN ŞİMŞEK'in hazırladığı “**Fotovoltaik Sistemlerde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Rahmi YAĞBASAN

Başkan



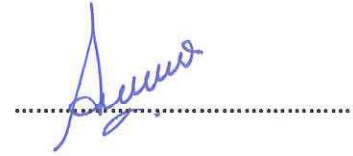
Prof. Dr. Necdet BAŞTÜRK

Danışman



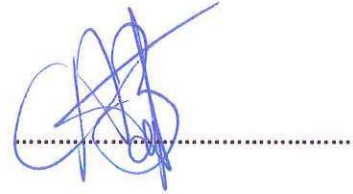
Prof. Dr. Aynur ERAY

Üye



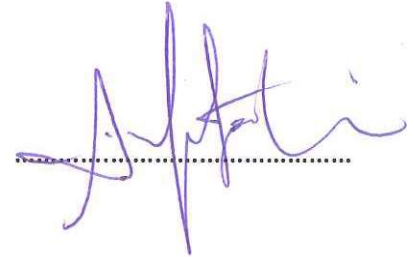
Doç. Dr. Akın BACIOĞLU

Üye



Doç. Dr. Ufuk ŞAHİN

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin / raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “ Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren Ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- o Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

13 / 09 / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı SOYADI

Sinon ŞİMŞEK

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü tezle ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezimin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. Şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü ve fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezimin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7. 2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13/09/2018

Sinan ŞİMŞEK

ÖZET

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE VERİMLİLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

Sinan ŞİMŞEK

Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Necdet BAŞTÜRK

Eylül 2018, 126 Sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklı enerji sistemlerine yapılan yatırımlar, konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenme tehdidi altında olması sebebiyle son yıllarda önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu sistemlerden en çok gelişme katedilenlerden biri fotovoltaik sistemlerdir. Yapılan AR-GE çalışmalarında kaydedilen başarılar ile birlikte FV modüllerinin fiyatları düşmüş ve dünya çapında kabul gören standartların sağlanması ile birlikte fotovoltaik sistemler yatırımcılar için bir yatırım aracı haline gelmiştir. Simülasyon programlarında yapılan kısa süreli enerji tahminleri oldukça az bir hata payı ile yapılmaktadır. Ancak kısa vadeli tahminlere bakılarak fotovoltaik sistemler devreye alındıktan sonra kendi başına bırakılmamalıdır. Sistemlerin performans analizi ve verimliliği etkileyen faktörlerin incelenmesi, sistemlerin uzun vadede yüksek performans göstermesi için takip edilmesi gereken konulardır. Türkiye’de kurulan fotovoltaik sistemlerin birçoğunda kurulum

esnasında yapılan yanlış uygulamalar sebebiyle sistemlerin işletme süreci sırasında önemli problemler ile karşılaşmakta, bu durum üretim kayıplarına sebep olmakta ve problemin tespiti yapılamamaktadır. Fotovoltaik sistemlerden yüksek performans elde etmek için performans analizi ve verimliliği etkileyen faktörlerin periyodik olarak takibi yapılmalıdır.

Bu çalışmada, ilk olarak Kuramsal Kesim bölümünde ışıınım ve performans parametrelerinin, verimliliği etkileyen faktörlerin hesaplanması için kullanılacak metotlara yer verilmiştir. Saha Verilerinin İncelenmesi bölümünde Gölbaşı ve Torbalı İlçeleri'nde bulunan Güneş Enerji Santralleri ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra, tesislerin performans parametreleri ve verimliliği etkileyen faktörler Kuramsal Kesim bölümünde yer verilen metotlar ile; ışıınım parametreleri ise NASA'nın veritabından alınan aylık ortalama Küresel Yatay Işıınım ve Dağılık Yatay Işıınım Değerleri ile hesaplanmıştır. Bir sonraki bölümde ise PVSyst programı ile santrallerin modellemesi ve simülasyonu yapılmıştır. Yıllık olarak incelendiğinde simülasyonla elde edilen üretim değerleri evircilerden elde edilenlere yakın olduğu görülmüştür. Değerlendirme bölümünde saha verileri ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmış, iki tesisin simülasyon ve saha verilerinden hesaplanan Sistem Performans Oranları arasındaki farkın %1'den az olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Kayıp parametreleri arasında Gölbaşı GES ve Torbalı GES tesislerinde en fazla kayba neden olan faktörün ısı kayıp olduğu görülmüştür. Sıcaklık kaybını tozlanma kaybı, yansıma kaybı ve dizi uyumsuzluğu kaybı izlemiştir. Ayrıca bu bölümde, santrallerin verimine en çok etki eden faktörler olan sıcaklık ve tozlanma kaybının daha az olması durumunun yıllık enerji üretimine etkisi değerlendirilmiştir. Torbalı GES'te FV modül arka yüzeylerinin rüzgar ile temas süresinin artması durumunda ısı kayıp azalacağı ve yıllık üretimde %3,5 artış olacağı, Gölbaşı GES'te ise bu artışın %1,2 olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır. FV modüllerinde oluşan tozların periyodik olarak temizlenerek tozlanma kaybının %1 seviyesinde tutulması halinde Gölbaşı GES'in yıllık üretiminde %5'lik, Torbalı GES'inde ise %3'lük bir artış olacağı sonucu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: fotovoltaik sistemler, verimliliği etkileyen faktörler, performans analizi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EFFICIENCY FACTORS IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Sinan ŞİMŞEK

Master of Science, Department of Renewable Energy

Supervisor: Prof. Dr. Necdet BAŞTÜRK

September 2018, 126 Pages

Investments to renewable energy systems increase in recent years due to depletion threat of conventional resources. In this point, one of the developed energy systems technology is photovoltaic systems. By the help of decreasing in solar panel cost and providing high acceptable standards around the World, photovoltaic systems become to be considered as an investment tool. Short term electricity forecasting can be done with margin of error by photovoltaic simulation programs. However, it does not mean that everything is done for obtaining high performance after construction process. Performance analysis and investigation of efficiency factors are crucial elements for reaching high efficiency in photovoltaic systems. In operation and maintenance process of most of Solar Power Plants in Turkey are faced with significant problems because of misimplemantaions in constructions processes and this leads to production losses.

In this study, initially, the methods to be used for the calculation of radiation and performance parameters in Theoretical Section are given. After giving general information about Solar Power Plants located in Gölbaşı and Torbalı Districts in the Investigation of Site Data, the performance parameters of the plants and the factors affecting the efficiency are given by the methods given in Theoretical Section; while the radiation parameters are calculated by monthly Global Horizontal and Diffuse Horizontal Radiation values from the NASA's database. In next section, the PVsyst program was used to model and simulate Solar Power Plants. When examined annually, it is seen that the production values obtained by simulation are close to those obtained from solar inverters. In the evaluation section field results and simulation results are compared and it is concluded that the difference between the system performance ratios calculated from the simulations and field data of two plants is less than 1%. Among the efficiency loss factors in Gölbaşı GES and Torbalı GES facilities, temperature loss was found to be the most effective factor causing the loss. Loss of temperature is followed by soiling loss, IAM loss, and mismatch loss. In addition, in this section, the effect of annual energy production on the decrease of temperature loss and soiling loss, which are the most influential factors of power plants, has been evaluated. In the case of Torbalı GES, the increase in the duration of contact with the wind surface of the solar panel back surface will decrease the temperature loss and increase by 3,5% in annual production. Gölbaşı GES has the result that this increase can be 1,2%. If the dust generated in the solar panels is periodically cleaned and the soiling loss is kept at 1% level, the result is that Gölbaşı GES will increase 5% in annual production and 3% in Torbalı GES.

Key Words: photovoltaic systems, efficiency factors, performance analysis

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen, bilgi ve birikimleri ile yol gösteren, tez yazma sürecinde anlayışlı bir tutum içerisinde olan ve bana sabır gösteren tez danışmanım değerli Prof. Dr. Necdet BAŞTÜRK'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimine kabul sürecinden tezin çalışmasının hazırlanmasına kadar her konuda desteklerini esirgemeyen, yenilenebilir enerji sistemlerine bakış açımın ve vizyonumun gelişmesine katkısı olan, bilgi ve görüşlerini paylaşmaktan hiçbir zaman çekinmeyen YETAM Başkanı değerli Prof. Dr. Aynur ERAY'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynak olarak Torbalı ve Gölbaşı Güneş Enerjisi Santrali verilerinin tez çalışmasında kullanılmasına izin veren, akademik ve profesyonel alanlarda bilgi ve birikimlerini aktarmaktan hiçbir zaman çekinmeyen Altun Grup Solar Enerji firmasının sahibi Orhan ALTUN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatımda bir başarı elde ettiysem ya da çevremdeki bir insan için faydalı bir şey yaptıysam bunları borçlu olduğum, ne karar alırsam alayım her daim bana destek olan çok değerli annem Esin ŞİMŞEK'e ve çok değerli babam Muhammet ŞİMŞEK'e her konuda olduğu gibi bu tez çalışmasında olan katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Yoğun çalışma temposunda bana sabır gösteren, sevgisini ve şefkatini esirgemeyerek bana manevi destek olan çok değerli arkadaşım Oytun TUNÇEL'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER	vii
ÇİZELGELER	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL KESİM	9
3. SAHA VERİLERİNİN İNCELENMESİ	23
3.1 Torbalı Ges Tesisi Verilerinin İncelenmesi	23
3.2 Gölbaşı Ges Tesisi Verilerinin İncelenmesi	38
4. PVSYST İLE SANTRALLERİN MODELLENMESİ	58
4.1 Torbalı Ges Tesisinin Modellenmesi	58
4.2 Gölbaşı Ges Tesisinin Modellenmesi	70
5. DEĞERLENDİRME	88
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	97
6.1 Sonuçlar	97
6.2 Öneriler	98
7. KAYNAKÇA	100
EK-1	104
EK-2	104
EK-3	105
EK-4	109
EK-5	110
EK-6	112
EK-7	113
EK-8	116
EK-9	124
ÖZGEÇMİŞ	126

ŞEKİLLER

Şekil 1.1 Kristal Silisyum Güneş Gözelerinin Watt Başına Maliyetinin Yıllara Göre Değişimi	1
Şekil 1.2 Türkiye’de Fotovoltaik Sektörünün Yıllara Göre Değişimi	3
Şekil 1.3 2018 yılı Haziran Sonu İtibariyle Türkiye’deki Elektrik Üretim Tesislerinin Kurulu Güçleri	4
Şekil 1.4 Tozlanma Etkisinin Dünyadaki Dağılımı	5
Şekil 1.5 Fotovoltaik cam kaplamanın farklı açılarında biriken tozların iletim kaybına etkisi	5
Şekil 2.1 Sapma Açısı.....	9
Şekil 2.2 Yükselme Açısı	10
Şekil 2.3 Azimut Açısı.....	10
Şekil 2.4 Zenit Açısı	11
Şekil 2.5 Azimut Açısı.....	11
Şekil 2.6 FV modüle Geçiş Açısı	11
Şekil 2.7 Doğrudan Gelen, Yansıyarak Gelen ve Yayılarak Gelen Işınlımlar	12
Şekil 2.8 Güneş Işınlınının FV modülünden Yansıması	15
Şekil 2.9 Kolorado Commerce City (kırmızı) ve Pensilvanya Erie (mavi) şehirlerinde kurulan deney düzeneklerinde PM10 ve Toz birikintisi miktarlarının ilişkisi	16
Şekil 2.10 Bir güneş gözesinin %50 gölgeye mağruz bırakılması sonucu elde edilen deneysel ve teorik I-V eğrileri	22
Şekil 3.1 Torbalı GES Tesisi Yerleşim Planı Kesiti.....	23
Şekil 3.2 Torbalı GES çatı görünümü	24
Şekil 3.3 38 adet Platinum Marka Solar Evirici	24
Şekil 3.4 Torbalı 593 kW santralin tek hat şemasının bir kesiti.....	25
Şekil 3.5 2015 Yılına Ait Meteoroloji Genel Müdürlüğü Torbalı İstasyonundan Alınan Aylık Ortalama Sıcaklık Değerleri	25
Şekil 3.6 Torbalı GES Sahasında Aylık Ortalama Zenit Açıları	27
Şekil 3.7 Torbalı GES Sahasında Aylık Ortalama FV modüle Geçiş Açıları	28
Şekil 3.8 2015 yılına ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama küresel yatay ışınım değerleri	28
Şekil 3.9 2015 yılına ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama dağınık yatay ışınım değerleri	29
Şekil 3.10 2015 yılına ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama küresel doğrudan gelen ışınım değerleri	29
Şekil 3.11 Torbalı GES’e 2015 Yılında Aylık POAI Bileşenlerinin Değerleri.....	30
Şekil 3.12 Torbalı GES’e 2015 Yılında Aylık POAI Değerleri	30

Şekil 3.13 Torbalı GES tesisinde Aylık Ortalama IAM kaybı	31
Şekil 3.14 Torbalı GES tesisinde her eviricide ortalama DC Omik Kayıp	32
Şekil 3.15 Torbalı İlçesinde Aylık Ortalama Partikül Madde Değerleri	32
Şekil 3.16 Torbalı İlçesinde Aylık Tozlanma Kaybı Yüzdeleri	33
Şekil 3.17 Torbalı İlçesinde Ortalama Fotovoltaik Dizi Kazancı Değerleri	34
Şekil 3.18 Torbalı İlçesinde Ortalama Referans Kazancı Değerleri	35
Şekil 3.19 Torbalı İlçesinde Ortalama Final Kazancı Değerleri	36
Şekil 3.20 Torbalı İlçesinde Performans Oranı Değerleri	36
Şekil 3.21 Torbalı GES’te Evirici Verimi Değerleri	37
Şekil 3.22 Torbalı GES’te Sistem Verimi Değerleri	37
Şekil 3.23 Gölbaşı GES Tesisi Vaziyet Planı.....	38
Şekil 3.24 Gölbaşı GES Arazi Bölümü	39
Şekil 3.25 Gölbaşı GES Çatı 1 Bölümü	39
Şekil 3.26 Gölbaşı GES Çatı 2 Bölümü	40
Şekil 3.27 Gölbaşı GES Otopark Bölümü	40
Şekil 3.28 Gölbaşı GES FV modüllerinden AC Toplama Panolarına Kadar Tekhat Şeması	42
Şekil 3.29 Meteoroloji Genel Müdürlüğü Gölbaşı İlçesi istasyonundan alınan Nisan 2015 ile Mart 2016 arası aylık ortalama sıcaklık değerleri	43
Şekil 3.30 Gölbaşı GES sahasında Aylık Ortalama Zenit Açıları	44
Şekil 3.31 Gölbaşı GES Tesisi Çatı Bölümü Aylık Ortalama FV modüle Geçiş Açıları....	45
Şekil 3.32 Gölbaşı GES Tesisi Arazi Bölümü Aylık Ortalama FV modüle Geçiş Açıları .	45
Şekil 3.33 Gölbaşı GES Tesisi Otopark Bölümü Aylık Ortalama FV modüle Geçiş Açıları	46
Şekil 3.34 2015 yılına ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama küresel yatay ışıınım değerleri	46
Şekil 3.35 Gölbaşı GES tesisine ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama dağınık yatay ışıınım değerleri	47
Şekil 3.36 Gölbaşı GES tesisi konumuna ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama küresel doğrudan gelen ışıınım değerleri	47
Şekil 3.37 Gölbaşı GES Tesisi Çatı, Arazi ve Otopark Bölgelerine Ait Yıllık POAI Değerleri	49
Şekil 3.38 Gölbaşı GES tesisinde Aylık Ortalama IAM Kayıpları	50
Şekil 3.39 Gölbaşı GES tesisinde Yıllık IAM Kayıpları	50
Şekil 3.40 Gölbaşı GES tesisinde her eviricide ortalama DC Omik Kayıp	51
Şekil 3.41 Gölbaşı İlçesinde Aylık Ortalama Partikül Madde	52
Şekil 3.42 Gölbaşı İlçesinde Aylık Tozlanma Kaybı Yüzdeleri	52
Şekil 3.43 Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Fotovoltaik Dizi Kazancı Değerleri	55

Şekil 3.44 Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Ortalama Referans Kazancı Değerleri	56
Şekil 3.45 Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Final Kazancı Değerleri.....	56
Şekil 3.46 Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Performans Oranı Değerleri	57
Şekil 3.47 Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Evirici Verimi Değerleri.....	57
Şekil 3.48 Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Sistem Verimi Değerleri.....	58
Şekil 4.1 Veritabanı Bölümünde Torbalı GES Işınım ve Sıcaklık Değerlerinin Görünümü	59
Şekil 4.2 Fotovoltaik Sistem Girdileri Bölümü	59
Şekil 4.3 Güneş Açılarının Belirlendiği “Oryantasyon” Bölümü.....	60
Şekil 4.4 FV modül ve Evirici Seçimlerinin, Dizi Tasarımının Yapıldığı “Sistem” Bölümü	61
Şekil 4.5 PVsyst Sıcaklık Kaybı Bölümü	62
Şekil 4.6 PVsyst Omik Kayıp	63
Şekil 4.7 PVsyst Omik Kayıp	63
Şekil 4.8 Dizi Uyuşmazlığı Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Modül Kalitesi	64
Şekil 4.9 Dizi Uyuşmazlığı Kaybı Histogram	64
Şekil 4.10 Tozlanma Kaybı Aylık Ortalama Değerler	65
Şekil 4.11 PVsyst Yansıma Kaybı Metod Seçme Bölümü.....	65
Şekil 4.12 PVsyst 3 Boyutlu Tasarım.....	66
Şekil 4.13 PVsyst Gölge Analizi Ana Pencere.....	67
Şekil 4.14 PVsyst Gölge Faktörü Tablosu.....	67
Şekil 4.15 PVsyst FV modül Yerleşimi.....	68
Şekil 4.16 PVsyst Torbalı GES Kayıp Yüzdeleri.....	70
Şekil 4.17 Veritabanı Bölümünde Gölbaşı GES Işınım ve Sıcaklık Değerlerinin Görünümü	71
Şekil 4.18 Fotovoltaik Sistem Girdileri Bölümü	71
Şekil 4.19 Güneş Açılarının Belirlendiği “Oryantasyon” Bölümü (Çatı-üst sol, Otopark-Üst Sağ, alt Arazi)	72
Şekil 4.20 FV modül ve Evirici Seçimlerinin, Dizi Tasarımının Yapıldığı “Sistem” Bölümü (Çatı).....	73
Şekil 4.21 FV modül ve Evirici Seçimlerinin, Dizi Tasarımının Yapıldığı “Sistem” Bölümü (Otopark)	73
Şekil 4.22 FV modül ve Evirici Seçimlerinin, Dizi Tasarımının Yapıldığı “Sistem” Bölümü (Arazi).....	74
Şekil 4.23 PVsyst Sıcaklık Kaybı Bölümü (solda çatı, sağda otopark ve arazi)	75
Şekil 4.24 PVsyst Omik Kayıp (Sol üstte Çatı, Sağ Üstte Otopark ve Altta Arazi Bölümü)	76

Şekil 4.25 Dizi Uyuşmazlığı Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Modül Kalitesi (Çatı ve Otopark).....	76
Şekil 4.26 Dizi Uyuşmazlığı Kaybı Histogram (Çatı ve Otopark).....	77
Şekil 4.27 Tozlanma Kaybı Aylık Ortalama Değerler	77
Şekil 4.28 PVsyst Yansıma Kaybı Metod Seçme Bölümü.....	78
Şekil 4.29 PVsyst 3 Boyutlu Tasarım (Çatı Bölümü)	78
Şekil 4.30 PVsyst 3 Boyutlu Tasarım (Otopark Bölümü)	79
Şekil 4.31 PVsyst 3 Boyutlu Tasarım (Arazi Bölümü)	79
Şekil 4.32 PVsyst FV modül Yerleşimi (Çatı)	81
Şekil 4.33 PVsyst FV modül Yerleşimi (Otopark).....	81
Şekil 4.34 PVsyst FV modül Yerleşimi (Arazi)	82
Şekil 4.35 PVsyst Torbalı GES Kayıp Yüzdeleri (Çatı)	86
Şekil 4.36 PVsyst Torbalı GES Kayıp Yüzdeleri (Otopark)	86
Şekil 4.37 PVsyst Torbalı GES Kayıp Yüzdeleri (Arazi)	87

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1: FV modül Sıcaklığının Tahmini için Deneysel Modellemeler	12
Çizelge 2.2: FV modül Sıcaklığının Belirlenmesi için Modellemeler	19
Çizelge 2.3: En Çok Satış Yapan Firmaların FV modüllerinde Görülen LID Kaybı.....	19
Çizelge 2.4: Galve Üniversitesi'nde Yapılan Deneyde Farklı Gölgeleme Senaryolarının Karşılaştırılması.....	20
Çizelge 3.1: Günlük ortalama, aylık ve yıllık toplam enerji üretimi değerleri.....	26
Çizelge 3.2: Ortalama Aylık ve Yıllık Dizi Uyuşmazlığı Kaybı Değerleri	33
Çizelge 3.3: Ortalama Aylık ve Yıllık Sıcaklık Kaybı Değerleri.....	34
Çizelge 3.4: Günlük ortalama, aylık ve yıllık toplam enerji üretimi değerleri.....	43
Çizelge 3.5: Gölbaşı GES Tesisi Çatı, Arazi ve Otopark Bölgelerine Ait Aylık POAI Değerleri	47
Çizelge 3.6: Ortalama Aylık ve Yıllık Dizi Uyuşmazlığı Kaybı Değerleri.....	52
Çizelge 3.7: Ortalama Aylık ve Yıllık Sıcaklık Kaybı Değerleri.....	52
Çizelge 3.8: Gölbaşı GES tesisinde Aylık Ortalama Performans Değerleri (a-Çatı, b-Arazi, c-Otopark)	53
Çizelge 4.1: PVsyst Ana Sonuç Tablosu	68
Çizelge 4.2: PVsyst Performans Parametreleri.....	69
Çizelge 4.3: Güneş Açılarına Göre Gölgeleme Faktörü Tablosu (Çatı Bölümü)	80
Çizelge 4.4: Güneş Açılarına Göre Gölgeleme Faktörü Tablosu (Otopark Bölümü)	80
Çizelge 4.5: Güneş Açılarına Göre Gölgeleme Faktörü Tablosu (Arazi Bölümü)	80
Çizelge 4.6: PVsyst Ana Sonuç Tablosu (Çatı)	82
Çizelge 4.7: PVsyst Ana Sonuç Tablosu (Otopark)	83
Çizelge 4.8: PVsyst Ana Sonuç Tablosu (Arazi)	83
Çizelge 4.9: PVsyst Performans Parametreleri (Çatı)	84
Çizelge 4.10: PVsyst Performans Parametreleri (Otopark)	84
Çizelge 4.11: PVsyst Performans Parametreleri (Arazi)	85
Çizelge 5.1: Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri	88
Çizelge 5.2: Torbalı GES Tesisinin Simülasyonda FV modül Açısına Göre Üretim Değerleri	89
Çizelge 5.3: Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre Sıcaklık Kaybı ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri	90
Çizelge 5.4: Saha Verileri ve PVsyst Sonuçlarına Göre Yıllık Kayıp Faktörleri.....	90
Çizelge 5.5: Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri (Gölbaşı Çatı)	91
Çizelge 5.6: Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri (Gölbaşı Arazi)	92

Çizelge 5.7: Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri (Gölbaşı Otopark)	92
Çizelge 5.8: Saha Verileri ve PVsyst Sonuçlarına Göre Yıllık Kayıp Faktörleri (Gölbaşı Çatı-Arazi-Otopark)	93
Çizelge 5.9: Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri (Gölbaşı GES Genel Değerler)	94
Çizelge 5.10: Saha Verileri ve PVsyst Sonuçlarına Göre Yıllık Kayıp Faktörleri (Gölbaşı GES Toplam)	94
Çizelge 5.11: Gölbaşı GES ve Torbalı GES Tesislerinin Yıllık Performans ve Kayıp Parametreleri.....	96
Çizelge 5.12: Gölbaşı GES ve Torbalı GES Tesislerinde UL Parametresinin Değiştirilmesi ile Elde Edilen Sonuçlar	96
Çizelge 5.13: Gölbaşı GES ve Torbalı GES Tesislerinde Tozlanma Kaybının Değiştirilmesi ile Elde Edilen Sonuçlar	97
Çizelge 8.1: Torbalı GES Aylık ve Yıllık Güneş Açıları ve Işınım Değerleri	104
Çizelge 8.2: Torbalı GES Aylık ve Yıllık Modüle Geliş Açısı ve Yansıma Kaybı Değerleri	104
Çizelge 8.3: Torbalı Ges DC Kablolarda Güç Kaybı Ve Bağlı (%) Güç Kaybı Hesapları	108
Çizelge 8.4: Gölbaşı Ges DC Kablolarda Güç Kaybı Ve Bağlı (%) Güç Kaybı Hesapları	110
Çizelge 8.5: Torbalı GES Aylık ve Yıllık Partiküler Madde, Toz Kütle Akısı ve Tozlanma Kaybı Değerleri	111
Çizelge 8.6: Gölbaşı GES Aylık ve Yıllık Partiküler Madde, Toz Kütle Akısı ve Tozlanma Kaybı Değerleri	111
Çizelge 8.7: Gölbaşı GES Aylık ve Yıllık Güneş Açıları ve Işınım Değerleri	112
Çizelge 8.8: Gölbaşı GES Çatı, Arazi ve Otopark Bölümleri için Aylık ve Yıllık Modüle Geliş Açısı ve Yansıma Kaybı Değerleri	113
Çizelge 8.9: Torbalı GES DC Enerji, Uyuşmazlık Kaybı Yüzdelik ve kWh Cinsinden Değerler	122
Çizelge 8.10: Gölbaşı GES Otopark, Çatı ve Arazi Bölümlerinde DC Enerji, Uyuşmazlık Kaybı Yüzdelik ve kWh Cinsinden Değerler	125

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

I_{sc}	Kısa Devre Akımı
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi
T_c	Güneş Gözesi Sıcaklığı
q	Elektron Yüğü
w	Toz Yoğunluğu
k	Boltzmann Katsayısı
V_T	Isıl Gerilim
T_j	Junction Box Sıcaklığı
δ	Sapma Açısı
α	Yükselme Açısı
θ_{AZ}	Azimet Açısı
θ_Z	Zenit Açısı
θ_T	FV modül Açısı
θ_{AOI}	Işının Gelme Açısı
Y_A	Fotovoltaik Dizi Kazancı
E_{DC}	DC Enerji
P_0	Standart Test Koşullarında Santralin Kurulu Gücü
Y_R	Referans Kazancı
G_0	Standart Test Koşullarındaki Işınım Değeri
Y_F	Final Kazancı
E_{AC}	AC Enerji
PR	Performans Oranı
CF	Kapasite Faktörü

η_{inv}	Evirici Verimi
η_{sys}	Sistem Verimi
η_{pv}	FV modül Verimi
b_0	Yansıma sabiti
P_{loss}	Omik güç kaybı
I_{MPP}	Maksimum Güç Noktasında Akım
R_{DC}	DC kablo direnci
L_{DC}	DC kablo uzunluğu
S	Kablo kesiti
k	Öziletkenlik katsayısı
P_{dizi}	Fotovoltaik dizinin gücü
$\%P_{loss}$	Omik güç kaybının yüzdesi
F	Partiküllerin Kütle Akısı
$\Delta\tau$	Tozlanma Kaybı
C	Hücre Karakteristiği
V_{mp}	Ortalama maksimum gerilim
n_{diode}	Diyot idealite faktörü
FF	Fill Factor
ΔP	Fotovoltaik Dizi Uyuşmazlığı Kaybı
σ	Varyans
σ_{η}^2	Maksimum Akımın Varyansı
σ_{ξ}^2	Maksimum Gerilimin Varyansı
μ_{IorV}	Akım ya da Gerilim Değerinin Aritmetik Ortalaması
$(\tau\alpha)$	İletim ve Soğurma Katsayısı

U_L	Isıl Kayıp Faktörü
β	FV modülün ısı kaybı faktörü
η_{tem}	Isıl Kayıp Oranı
$\theta_{AZ,array}$	Fotovoltaik Sistemin Azimut Açısı
$\theta_{AZ,avg}$	Güneşin Ortalama Azimut Açısı
U	Isıl kayıp faktörü
U_c	Isıl sabit olarak tanımlanır (W/m^2K)
U_v	Rüzgar parametresi olarak tanımlanır (W/m^2K)/(m/s)
$v_{rüz}$	Rüzgar hızı parametresidir (m/s)
R_{ave}	Ortalama Direnç Değeri (Ohm)

Kısaltmalar

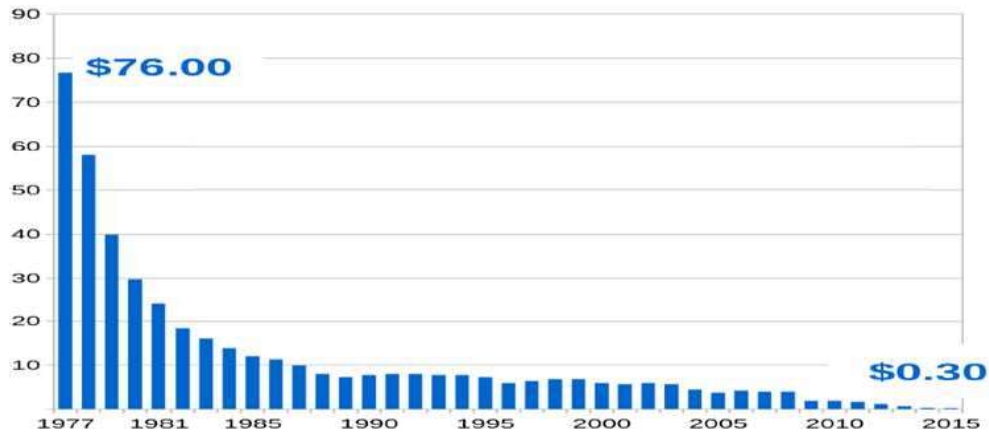
EPC	Engineering, Procurement, Construction
CIGS	Copper Indium Galyum Di Selenide
DC	Direct Current
AC	Alternative Current
EVA	Etil Vinil Asetat
STK	Standart Test Koşulları
GES	Güneş Enerjisi Santrali
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
LID	Light Induced Degredation
ISFH	Hameln Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
<i>DNI</i>	Doğrudan Gelen Işınım
<i>DHI</i>	Dağınık Yatay Işınım
<i>GHI</i>	Küresel Yatay Işınım
<i>POAI</i>	FV modül Yüzeyine Gelen Işınım
$POAI_d$	Plane of Array Irradiance-Directly
$POAI_{u,sky}$	Plane of Array Irradiance- Diffuse from sky
$POAI_{u,ground}$	Plane of Array Irradiance-Reflected from ground
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IAM	Incidence Angle Modifier
PM10	Partikül Madde Konsantrasyonu

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ısınma ve yaşam kaynaklarının, özellikle de konvansiyonel enerjinin temeli olan fosil kaynakların azalması gibi sorunlar temiz ve tükenmez enerjilerin önemini arttırmaktadır. Ülkeler, enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla enerji stratejilerini geliştirirken, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim tesislerinin enerji üretimindeki payını arttırmayı hedeflemektedirler. Bu teknolojiler içerisinde güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi sistemleri en çok yatırım yapılan teknolojiler haline gelmiştir [1].

Bugün temiz tükenmez enerji dendiğinde akla rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi gelmektedir. Rüzgar enerjisi teknolojisi, güneş enerjisi teknolojisine göre daha önceden yaygınlaşmaya başladığı için, ülkelerin enerji santrallerini teknolojiye göre kurulu güç bazında değerlendirildiğinde, Rüzgar Enerjisi Santralleri'nin toplam kurulu gücü Güneş Enerjisi Santralleri'nin toplam kurulu gücüne göre genelde daha fazla olduğu görülecektir [2]. Rüzgar enerjisinin güneş enerjisine göre en büyük dezavantajlarından biri öngörülebilir olmamasıdır. Fotovoltaik sistemlerin kaynağı olan güneşin ne zaman doğup ne zaman batacağı ve güneş ışınlarının yeryüzünde bulunan bir bölge üzerine hangi açıyla düşeceği belli olmasına karşın, rüzgârın oluşumunun öngörülebilir olmaması sebebiyle güneş enerjisi kaynaklı elektrik üreten sistemlerde yapılan üretim tahminleri rüzgar kaynaklı enerji sistemlerinin tahminine göre daha az hata payı içerir.

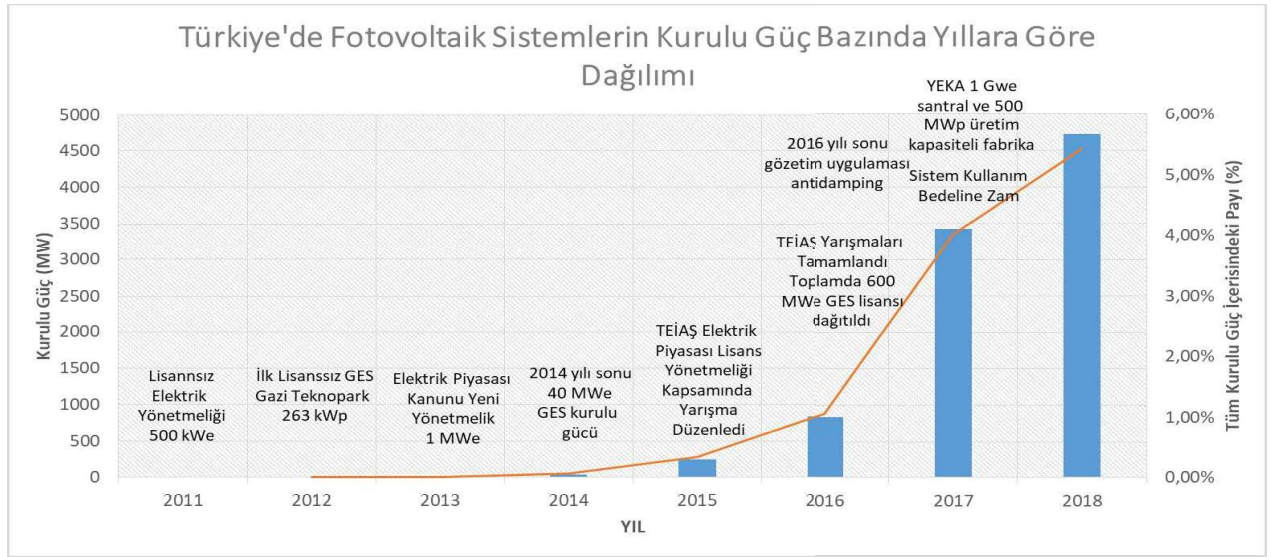
Dünyadaki birçok şirket yatırımlarını güneş enerjisi kaynaklı elektrik üreten sistemlere yapmakta ve bu şirketlerin vermiş olduğu EPC (Engineering, Procurement, Construction) hizmetlerinden ya da güneş enerjisi sistemleri ürün satışlarından yüksek kazançlar elde etmektedirler [3]. Bunun yanı sıra güneş enerjisi konusunda yapılan AR-GE çalışmaları uzun bir süreden beri devam etmektedir. Güneş enerjisi kaynaklı elektrik üreten sistemlerin verimini arttırmaya yönelik olan bu çalışmalara, çeşitli şirketler ya da devletler tarafından mali olarak destek verilmektedir. Günümüzde güneş enerjisi sektörü içerisinde en çok rağbet gören ve kurulumu en fazla yapılan teknoloji fotovoltaik teknolojisidir. Rekabet arttıkça, yatırımcı için daha cazip hale gelen fotovoltaik sistemler için üretilen kristal silisyum fotovoltaik modüllerin 1977 yılındaki maliyeti 76 \$ iken 2015 yılına gelindiğinde maliyet 0.3 \$'a kadar düşmüştür [5].



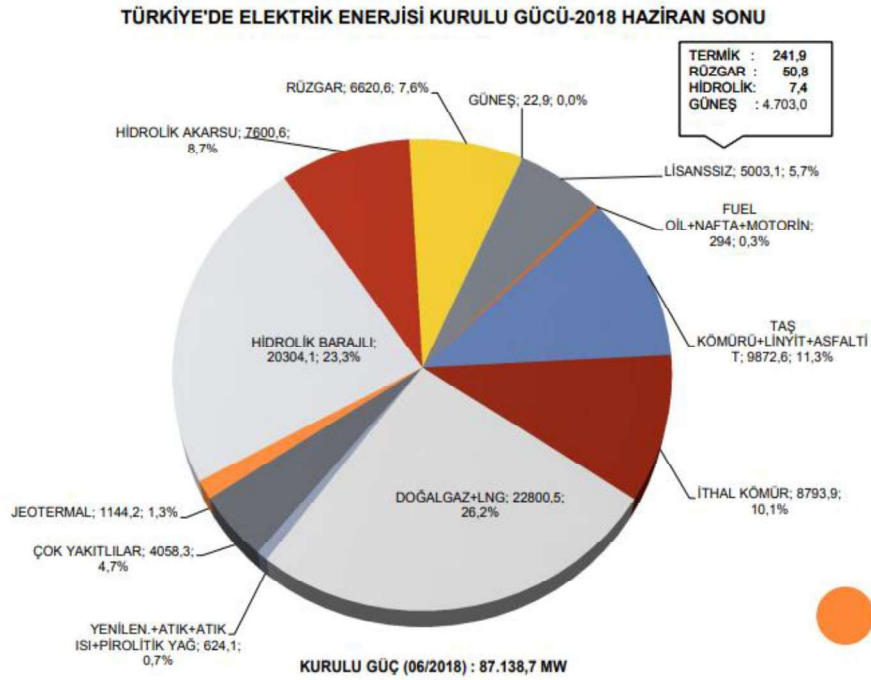
Şekil 1.1: c-Si Güneş Gözelerinin Watt Başına Maliyetinin Yıllara Göre Değişimi [5]

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de fotovoltaik sistemlerin önemi gittikçe artmıştır [5]. Türkiye’de Fotovoltaik Sektörü’nün yıllar içerisindeki gelişimi aşağıda belirtilmiştir (Şekil 1.2):

- 1980 ve 1990’lı yıllarda Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ege Üniversitesi ve TÜBİTAK gibi kurumlar tarafından güneş pilleri ve güneş enerjisi konusunda AR-GE faaliyetleri yürütülmüştür.
- 2011 yılında “Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik” yayınlanmış ve yatırımcılara maksimum 500 kW_e kurulu gücünde Güneş Enerjisi Santrali kurulumu imkanı sunulmuştur.
- 2012 yılında Gazi Teknopark GES adıyla 263 kW_e kurulu gücünde ilk lisanssız GES, geçici kabulü yapılarak faaliyete geçmiştir.
- 2013 yılında 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu 14. Maddesi kapsamında, Elektrik Piyasasında Elektrik Üretimin İlişkin Yönetmelik ile azami kurulu güç 1 MWe’ye yükseltilmiştir.
- 2014 yılında GES’lerin Türkiye kurulu gücüne katkısı %0.05’e yükselmiştir.
- 2014 ve 2015 yılında Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği kapsamında toplamda 600 MWe kurulu güce sahip Güneş Enerjisine dayalı üretim tesislerine yapılan lisans başvuruları neticesinde 6 paket üzerinden bir yarışma düzenlenmiş, kazanan firmalara bu paketler dağıtılmıştır.
- 2015 yılında Ekonomi Bakanlığı tarafından, ithal edilen FV modüllere gözetim uygulaması getirilmiştir.
- 2015 yılında geçici kabulü yapılan GES’lerin kurulu gücü 248,8 MWe’ye (%0,3) ulaşmıştır.
- 2016 yılında İthal FV modüller teşvik kapsamından çıkarılmış ve ithalatta gözetim uygulaması başlamıştır. Bu uygulama ile birlikte “Yatırım Teşvik Belgesi” olmayan yatırımcılar projelerde yerli modül kullanmak durumunda kalmışlardır.
- 2016 yılında geçici kabulü yapılan GES’lerin kurulu gücü 832,5 MWe’ye (%1,1) ulaşmıştır.
- 2017 yılında ilk Lisanslı GES olan 8 MWe gücünde Solentegre GES’in kabulü yapılmıştır.
- 2017 yılında Yeninebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) ihalesi ile 1 GWe kurulu gücündeki GES lisansı 6,99 USD Cent/kWh üretim bedeli karşılığında Kalyon İnşaat- Hanwha Q Cells Grubuna verilmiştir. Bu proje yerli ve milli hedefle doğrultusunda Türk hükümeti tarafından hazırlanmıştır. YEKA ihalesi kapsamında kazanan firma (lar) tarafından 500 MWp üretim kapasitesine sahip FV modül üreten bir tesis kurulacaktır.
- 2017 yılında EPDK tarafından 10 kW_e Çatı Fotovoltaik Sistemleri için yönetmelik yayınlanmıştır.
- 2017 yılında geçici kabulü yapılan GES’lerin kurulu gücü 3402 MWe’ye (%4) ulaşmıştır.
- 2018 yılı Haziran sonu itibariyle geçici kabulü yapılan GES’lerin kurulu gücü 4703 MWe’ye (%5,4) ulaşmıştır (Şekil 1.3).



Şekil 1.2: Türkiye’de Fotovoltaik Sektörünün Yıllara Göre Değişimi



Şekil 1.3: 2018 yılı Haziran Sonu İtibariyle Türkiye’deki Elektrik Üretim Tesislerinin Kurulu Güçleri

Fotovoltaik sistemlerde yaşanan gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte güneş enerjisi üretim tesislerindeki verimlilik konusu öne çıkan bir konu haline gelmiştir [6]. Birçok özel şirket ve enstitü, fotovoltaik sistemlerin verimini arttırmak için çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalar ışığında, birinci ve ikinci nesil güneş gözellerindeki verimliliğin artırılması yarışı, uluslararası bir rekabet yaratmıştır. Fotovoltaik sistemlerdeki verimliliğin artması için sistemin verimliliğini etkileyen parametrelerin belirlenmesi ve bunların incelenmesi oldukça

önemlidir. Bu çalışmada ele alacağımız verim kavramı, güneş enerji sistemlerindeki modüllerden eviricilere kadar olan bölümü kapsamaktadır. Verimi etkileyen parametreler;

- ısı kayıp,
- omik kayıp,
- ışık eşlikli bozulma,
- dizi uyumsuzluğu kaybı,
- tozlanma kaybı,
- gölge kaybı

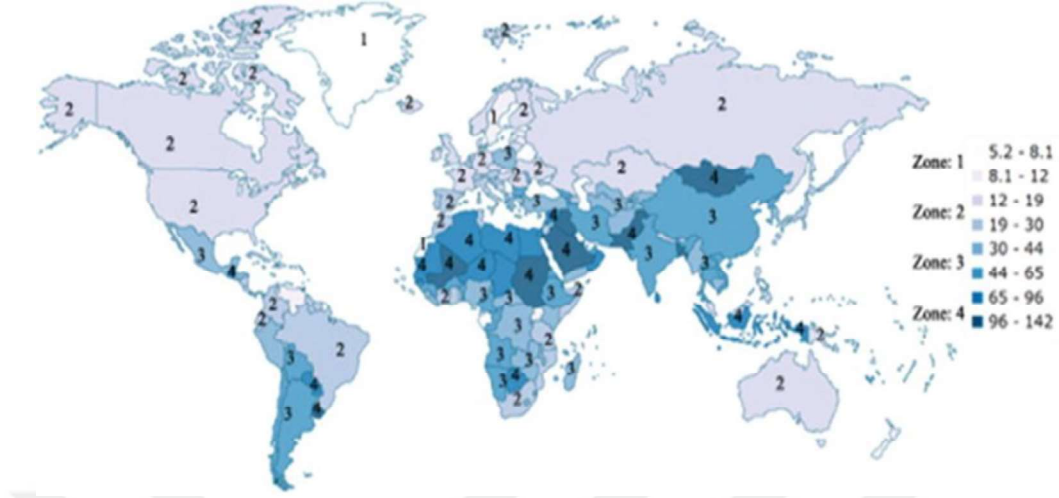
olarak sıralanabilir [7] [8].

Fotovoltaik sistemlerde enerjinin iletimi için kullanılan kablolar akıma direnç gösterdikleri için enerji kaybına sebep olurlar. Enerji kaybına sebep olan bu parametre omik kayıp olarak adlandırılır. **Omik kayıplar** kablonun mesafesi, tipi ve akıma bağlı olarak oluşan, güneş enerjisi santralinde, FV modülden şebeke bağlantı noktasına kadar olan bütün kablolardaki DC ve AC kayıplarını kapsamaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında DC kablolarda oluşan kayıplar incelenecektir. Omik kayıp, modül yüzeyine ulaşan enerjinin %1-3'ünü oluşturmaktadır [9].

Solar kablo uzunluğu, çatıda kurulan GES tesislerinde, arazide kurulan tesislerle kıyasladığımızda önemli ölçüde kullanılır. Çatıda 1 MW GES için ortalama 25-35 km arasında solar kablo kullanılırken arazide toplam kablo uzunluğu 8-15 km'dir. Dolayısıyla omik kayıp, özellikle çatı GES tesisleri için oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu kaybı en az seviyede tutmak için, modül ve evirici arası kullanılacak kabloların kesitinin artması gerekmektedir [10]. Bütün solar kabloların kesitinin artması maliyeti arttıracığı için, DC toplama kutusu çözümü, GES tesislerinde uygulanmaktadır. Bu yöntem ile kesiti az solar kablolar, DC toplama kutusunda toplanır ve +, - kutuplu büyük kesitli alçak gerilim kabloları ile enerji eviricilerde toplanır [10]. Çatı üzerine kurulan fotovoltaik sistemlerde eviriciler zemine ve yan yana konuldukları için DC kablo mesafeleri önemli ölçüde artış gösterebilmektedir. Bu yüzden DC kablo kayıplarının azaltılması için kablo kesitinin ve modül-evirici arasında kullanılacak ekipmanın seçimi oldukça önemlidir. Omik kayıp, gerilim düşümünün yüksek olması sebebiyle gerçekleşir. TEDAŞ standartlarında DC gerilim düşümü sınırı %2'dir [11]. DC toplama kutusu, eviriciye kadar oluşan omik kaybı azaltmak için kullanılan bir ekipmandır. Bu sistemde modüllerden elde edilen DC enerji, toplama kutusunda toplanıp, daha büyük kesitli + ve - kutuplu kablolar ile eviriciye gider. Daha büyük kesitli kablolar, akımdan dolayı oluşacak enerji kaybını minimize eder.

Fotovoltaik sistemlerde tahmini en zor olan ve enerji kaybına sebep olan parametre **tozlanma kaybıdır**. Tozlanma etkisi kir, toz, kuş pisliği ve güneş modülünün yüzeyini kaplayan diğer parçacıklar nedeniyle oluşan enerji kaybıdır. Toz parçacıkları, yarıçapı 10 µm'den küçük olmakla birlikte bu büyüklük coğrafyaya göre değişmektedir. Tozlar rüzgar, volkanik hareketlenmeler ve araçların egzozlarından çıkan gazlar ile oluşabilmektedir. Sanaz Ghazi tarafından 2014 yılında yayınlanan çalışmada en fazla tozlanma Orta Doğu ve

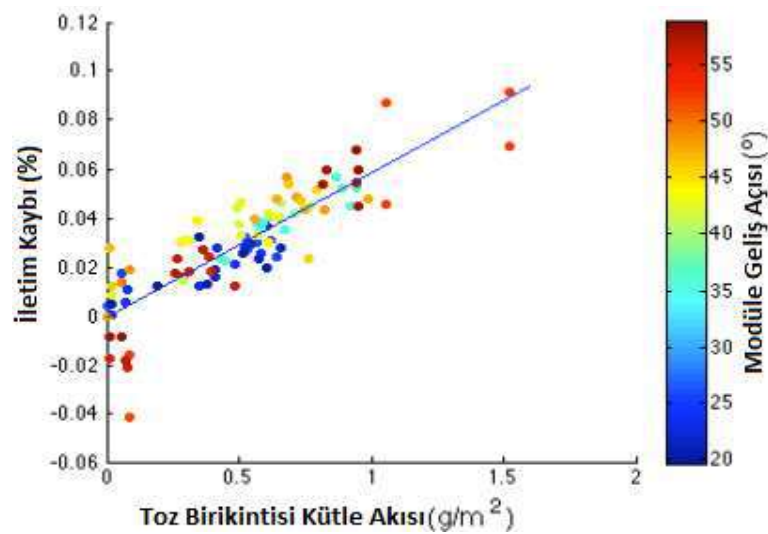
Kuzey Afrika’da kurulan fotovoltaik sistemlerde görülmüştür [12]. Şekil 1.3’te farklı renklendirmelerle tozlanma etkisinin dünyadaki dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1.4: Tozlanma Etkisinin Dünyadaki Dağılımı

Arizona’da yapılan bir çalışmada doğal tozlandırma yolu ile kristal silisyum fotovoltaik modüller üzerinde deney yapılmıştır. Yapılan deneyde FV modüllerin 3 g/m^2 (orta derecede) ve 74.6 g/m^2 (yüksek derecede) tozlanmaya maruz bırakılmış ve kısa devre akımlarında sırasıyla %10 ve %41 değerlerinde düşüşler meydana gelmiştir [13].

Kolorado’da yapılan bir çalışmada temperlenmiş cam levhalar, farklı açılarda konumlandırılarak, 2011 ve 2013 yılları arasında, yüzden fazla örnek alınıp tozlanma etkisi gözlemlenmiştir [14]. Bu deneyin amacı da, iletim kaybı ile FV modüllerinde kullanılan cam kaplamanın üzerindeki toz birikintisi arasındaki ilişkiyi formüle etmektir. Şekil 1.2’de fotovoltaik cam kaplamanın farklı açılarda oluşan toz birikintisinin iletim kaybına etkisi görülmektedir.



Şekil 1.5: Fotovoltaik cam kaplamanın farklı açılarda biriken tozların iletim kaybına etkisi

Şekil 1.4'ten Kolorado, Commerce City'de yapılan deneyde 1 g/m² toz birikintisinde oluşan güç kaybı %5,8 olarak görülmektedir.

Fotovoltaik sistemlerde güç kaybının başlıca faktörlerinden bir tanesi FV modül ya da gözelerin aynı güç ile üretilmesine karşın işletme sırasında sahadaki konum ya da güneşin konumu gibi faktörler sebebiyle FV modülleri ve dizilerde oluşan farklı üretim değerleridir. Fotovoltaik modüller, güneş gözeleri seri ya da paralel bağlandıklarında tek başına gösterdikleri maksimum güç performansını gösteremezler. Uyuşmazlık kaybı aynı zamanda bağlı güç kaybı ya da kesirli güç kaybı olarak bilinmektedir [15] [16] [17]. Kaybın oluşmasındaki etkenler FV modül üreticisinin göze karakteristik özelliklerinde belirlediği tolerans payı, çevresel etmenler ve gölge diye sıralanabilir [18].

Gözelerdeki fiziksel farklılıklar ve farklı karakteristik özellikler, göze malzemesinin üretimi sırasında oluşmaya başlar. Bunun sonucunda bir dizide bulunan modüllerin ürettiği güç, kendi başlarına ürettikleri maksimum güçlerin toplamından daha az olacak duruma gelir. Hücrelerin yaşlanması ile bu kayıplar artış eğilimi gösterirler [18].

Dolu gibi doğa olayları ya da av mevsiminde saha dışından gelen yorgun bir kurşun darbesi gibi faktörler sonucunda FV modüllerde oluşan çatlak ya da kırıklar çevresel gerilim yaratır. Bu durum sadece güneş gözeleri arasında uyumsuzluk kaybına yol açmaz, aynı zamanda gözelerin üzerindeki güç dağılımının dengesiz olmasına, bazı bölgelerde aşırı ısınmalara ve sıcak noktaların oluşmasına sebep olabilir. Söz konusu çevresel gerilimin daha ileri aşamalarında gözelerin üstündeki lehimler eriyebilir ve gözeleri çevreleyen malzeme zarar görebilir [19].

Güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretim sistemlerinin bulunduğu sahalarda, sabit duran cisimler, güneş ışınlarının geliş açısına bağlı ve günlük kaybı hesaplanabilir gölgeler oluştururken, kuş pislikleri ya da toz birikintilerinin oluşturduğu hesaba katılmayan gölgeler de oluşabilir. Gölge düşen gözelerden akım geçmeyeceği veya daha düşük miktarda akım geçeceği için bağlı oldukları alt modüldeki gölge düşmeyen gözelerden de akım geçemeyebilir ya da aynı seviyede akım geçer. Bu durum gözelerde aşırı ısınmaya ve malzemelerin yıpranmasına sebep olabilir. Bunun sonucunda oluşan sıcak noktalar, kaplama yüzeyine zarar verebilir ve gözelerde çatlakların oluşmasına sebep olabilir.

Güneş gözesi devrelerinde gölge sebebiyle oluşan verim kaybının azaltılması konusunda 30 yıldan beridir yapılmış önemli çalışmalar mevcuttur [20]. Etkinin azaltılması için FV modülün içerisinde köprüleme diyotları kullanılmaktadır. Diyot kullanımı elektriksel uyumsuzluk kayıplarının önemli ölçüde azalmasını sağlamaktadır. Günümüzde diyot konusunda yapılan araştırmalar sonucunda köprüleme diyotları geliştirilerek, uluslararası standartlarda üretilen 60 gözeli FV modüllerde 3 adet, 72 gözeli FV modüllerde ise 4 adet köprüleme diyotu kullanılmaya başlanmıştır. Diyot sayıları, FV modül üretim maliyeti göz önünde bulundurularak belirlenmiştir [20].

Birçok araştırmada dizilerdeki farklı konfigürasyonlarla elde edilen sonuçlar analiz edilerek uyumsuzluk kaybı sorununa çözüm önerileri hazırlanmıştır [21] [22] [23]. Ayrıca,

diyot ve gölge etkileri de incelenmiştir [24] [25] [26] [27]. Yapılan bazı araştırmalar da dizilerdeki uyumsuzluk probleminin performans etkisi ile ilgili teorik çalışmalar içerir. Bu çalışmalarda, deneysel verilerin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılabilecek denklemler geliştirilmiştir [28].

FV modülünün sıcaklığı fotovoltaik sistemlerin uzun ömürlü olması adına en dikkat edilmesi gereken parametrelerden biridir. Sıcaklık etkisi FV modülü çevreleyen malzeme, soğurma katsayısı, modülün kurulum ve çalışma noktasına (installation and operating point), ışınım seviyesi, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi karakteristik özelliklere bağlıdır [29] [30] [31].

Fotovoltaik modül verimi ya da performansı modül sıcaklığı ile ters orantılıdır. Eğer ortam sıcaklığı yükselirse göze sıcaklığı da yükselir, bu da elde edilen enerjinin azalmasına sebep olur [32]. Sabit bir ışınım değerindeki sıcaklık artışı, açık devre gerilimini azaltır ve daha az oranda kısa devre akımı artışı olur. Bunun sonucunda da güç azalmış olur [32].

Güneş gözeleri hasar oluşumunu engellemek için çevresi temperli cam ve çerçeve ile kaplı olduğundan göze sıcaklığını ölçmek oldukça zor bir işlemdir. Bu yüzden yapılan deneylerde, FV modülünün arka yüzünün sıcaklığının eklem sıcaklığı (T_j) ile aynı olduğu kabul edilir. Arka yüz sıcaklık değerinin yanında, bazı araştırmalarda T_j değeri, arka ve ön yüz sıcaklıklarının ortalama değeri kabul edilir. Birçok çalışmada bu yaklaşım doğrudur ancak modülün havalandırılmasının çok mümkün olmadığı durumlarda hatalı olabilir [33].

Güneşe ilk defa maruz kalan kristalize güneş gözelerinde, bir kayıp olduğu gözlemlenir. **Işık Eşlikli Bozulma** (Light Induced Degredation) olarak adlandırılan bu kayıp faktörü, silisyum dilimlerinin (wafer) üretim kalitesi ile ilişkili olup, %1-3 arasında değişmektedir [34]. Işık eşlikli bozulma, üretime katkı sağlaması gereken yarıiletken malzemelerin erime sırasında oksijenle teması sonucunda kendini göstermektedir. PVsyst programında bu değer standart olarak %2 olarak alınmaktadır. 14. Avrupa Fotovoltaik Konferansı'nda, Stephens Bedford tarafından, ticari amaçla Czochralski metodu kullanılarak, üretilen gözelerle sahip FV modüllerinde ışık eşlikli bozulma etkisinin verimde %3 ile %7 arasında kayıplara neden olduğunu vurgulamıştır [35]. Dünyada kristal silisyum FV modül üretimi yapan ve büyük satış miktarlarına ulaşan firmaların kataloğunda, doğrusal performans eğrisinde güneşe ilk maruz kalma etkisi, %2,5 ile %3 arasında yer almaktadır [36]. ABD Teksas'ta bir grup araştırmacı, gözelerin güneş ışınlarına ilk maruz kalma etkisinin tavlama ile azaltılabileceğini yaptıkları çalışma ile ortaya koymuştur [37].

Gölge Kaybı, EPC firmaları tarafından, güneş enerjisi santrali ya da sistemi tasarımında en çok dikkat edilmesi gereken parametrelerden biridir. Parçalı ya da tam gölgelenmeye dağ, tepe, ağaç, direk gibi yükseltiler, bulutlar, FV modülleri ve binalar gibi faktörler sebep olmaktadır. Drif'in Renewable Energy kitabında yer alan çalışmada Almanya ve Japonya'da bina çatısına kurulan fotovoltaik sistemlerde parçalı gölgelenme yıllık %5-10 arasında kayba sebep olduğu belirtilmiştir [38]. İspanyada ise güneş enerjisi tarlalarında, parçalı gölgelenmenin %3-6 arasında yıllık kayba sebep olduğu belirtilmektedir [39]. Bu

yüzden tasarım yapılırken, fotovoltaik sistemin etrafındaki tüm gölge faktörleri iyi analiz edilmeli, ve mevcut teknolojiye göre kurulumu yapılacak sistemde, gölge kaynaklı yaşanacak kayıpların, EPC firmaları tarafından müşterilere net bir şekilde sunulması gerekmektedir.

Parçalı gölgelenmeden gözelerde oluşacak aşırı ısınmayı ve verim kaybını önlemek için, FV modüllerde çözüm olarak köprüleme diyotları kullanılmaktadır. Bunlar, modülde seri bağlanmış göze gruplarına paralel bağlanırlar. Gölge olmadığında bütün gözeler ileri besleme modunda, köprüleme diyotu ise geri besleme modunda çalışarak, göze grupları arasında açık devre olur. Eğer göze grubunda bir ya da birden fazla gözede gölgelenme olur ise o göze grubuna bağlı köprüleme diyotu ileri besleme moduna geçer ve göze grubunun bağlı olduğu seri bağlantı kısa devre olur. Bunun sonucunda FV modülde gölge düşmeyen göze grupları durumdan etkilenmez [40].

Bu çalışmada, Altun Grup Solar Enerji ve Enerji Teknolojileri firmasının yüklenicisi olduğu Ankara Gölbaşı'nda kurulan 200 kW_e'lık ve İzmir Torbalı'da kurulan 593 kW_e'lık güneş enerjisi santralleri verileri ile FV sistemlerin performansı ve verimliliği etkileyen faktörlerin sistemin performansına etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda öncelikle ışıyım tahmini, performans parametreleri ve kayıp parametrelerinin hesaplanmasında kullanılacak metodların tanımı ve açıklaması yapılmıştır. Saha Verilerin İncelenmesi bölümünde ise gerçek saha verileri kullanılarak Torbalı ve Gölbaşı GES tesislerinin kayıp parametreleri tahmini ve performans analizi yapılacaktır. Santrallerin PVSyst programı ile modellemesinin anlatılacağı bölümde simülasyon girdilerine hangi parametrelerin girildiğine, gölge analizi bölümüne ve simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir. Değerlendirme bölümünde her bir tesis için PVSyst ve literatür formülleri ile ortaya çıkan sonuçların ve Torbalı GES, Gölbaşı GES tesislerinin performans ve kayıp parametrelerinin kıyaslaması yapılacaktır. Sonuç bölümünde ise çalışmanın özeti ve öneriler yer almaktadır.

Dünyada GES'lerin performans veya kayıp parametrelerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda ya sadece performans ya da kayıp parametrelerinin incelenmiştir. Yapılan incelemelerde genellikle bir fotovoltaik sistem simülasyon programı vasıtasıyla modellenerek elde edilen simülasyon sonuçları kullanılmıştır ya da sadece üretimde olan bir fotovoltaik sistem verileri kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Türkiye'deki çalışmalarda ise genellikle dünyada yapılmış performans ve kayıp parametreleri çalışmaları literatür taraması olarak verilmiştir. Deney düzeneği olarak değerlendirilebilecek büyüklükte kurulu güce sahip olan fotovoltaik sistemler üzerinde sadece bir kayıp parametresinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Mevcut çalışmada; Türkiye'de devrede olan farklı özelliklere sahip iki GES tesisinin geçmişe ait verileri ve simülasyon verileri kullanılarak performansları ve FV sistemlerin verimini etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu çalışma ile Türkiye'de kurulumu yapılan ve işletme safhasına geçen GES'lerin performansının ve verimini etkileyen faktörlerin incelenmesinde izlenebilecek yollar açıklanmıştır.

2. KURAMSAL KESİM

Bu bölümde Işınım Parametreleri ile Gölbaşı ve Torbalı'daki Güneş Enerjisi Santrallerinin performans değerlendirmesinde kullanılan performans ve kayıp parametrelerinin hesaplanmasında kullanılacak formüllere ve benzer çalışmalara yer verilmiş, PVsyst yazılımında kullanılacak parametreler ve fonksiyonlar açıklanmıştır.

2.1 – Güneş Açıları ve Işınım Parametreleri

2.1.1- Güneş Açıları

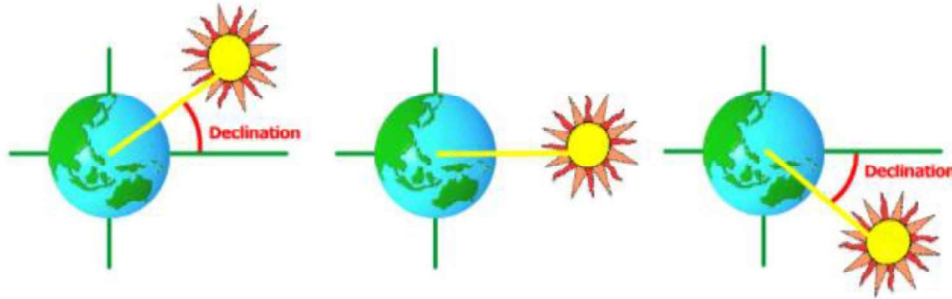
Yeryüzü ve güneş ışınları arasındaki açının bilinmesi, fotovoltaik modüller üzerine düşen ışınımın hesaplanması açısından önem teşkil etmektedir [41]. Işınım parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan açılar aşağıda açıklanmıştır:

Sapma Açısı (Declination Angle - δ)

Güneş ışınlarının dik düştüğü enlem ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır (Şekil 2.1). Sapma açısı 21 Mart ve 23 Eylül'de güneş ışınları ekvatora dik düştüğü için sıfırdır. 21 Aralık'ta -23.45° , 21 Haziran'da ise 23.45° 'dir. Yılın ilk gününde n parametresi "1" olmak üzere sapma açısı,

$$\delta = 23,45 \sin [360 \cdot ((n - 81) / 365)] \quad [2.1]$$

eşitliği ile verilmektedir [41].



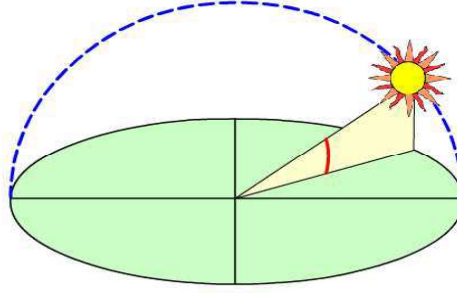
Şekil 2.1: Sapma Açısı

Yükselme Açısı (Elevation Angle - α)

Yükselme açısı, güneşin yatay düzlem ile gökyüzü arasındaki açısal yüksekliği olarak tanımlanır (Şekil 2.2). Güneşin doğuşunda yükselme açısı 0 iken, ekinoks tarihinde ekvatorda gün ortasında açı 90° 'dir [41]. ϕ ; enlem, δ ; sapma açısı olmak üzere,

$$\alpha = 90 + \phi - \delta \quad [2.2]$$

olarak yazılır.



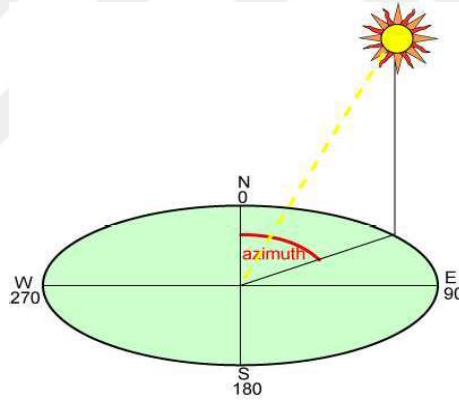
Şekil 2.2: Yükselme Açısı

Azimet Açısı (Azimuth Angle – θ_{AZ})

Azimet açısı, güneş ışınları ile kuzey güney doğrultusu arasındaki açıdır (Şekil 2.3). Kuzey yarımkürede, gün ortasında güneş her zaman tam güney yönünde olup, güney yarımkürede gün ortasında her zaman tam kuzey yönündedir. Güneş doğarken açı 90° iken, batarken 270° 'dir [41]. δ ; sapma açısı, θ ; modül açısı, HRA; saat açısı olmak üzere

$$\theta_{AZ} = \cos^{-1} \left(\frac{\sin(\delta)\cos(\theta) - \cos(\delta)\sin(\theta)\cos(HRA)}{\cos(\alpha)} \right) \quad [2.3]$$

eşitliği ile verilmektedir.



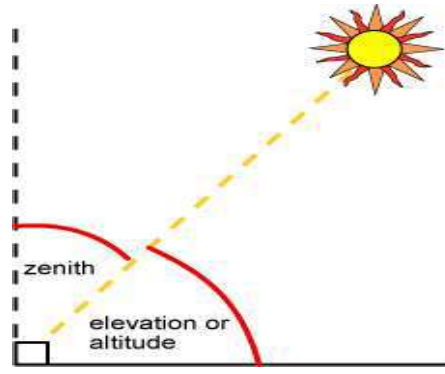
Şekil 2.3: Azimet Açısı

Zenit Açısı (Zenith Angle – θ_Z)

Zenit açısı güneş ışını ile yatay yüzeyin normali arasındaki açıdır (Şekil 2.4). Yükselme açısı yatay yüzeyden güneş ışını arasında ölçülürken, zenit açısı yatay yüzeyin normalinden güneş ışını arasında ölçüldüğü için iki açının toplamı 90° 'dir [41]. α ; yükselme açısı olmak üzere,

$$\theta_Z = 90^\circ - \alpha \quad [2.4]$$

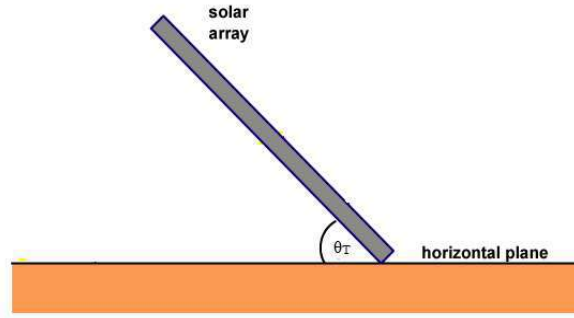
olarak tanımlanır.



Şekil 2.4: Zenit Açısı

Modül Açısı (FV modül Tilt – θ_T)

FV modül yüzeyi ile yatay yüzey arasındaki açıdır (Şekil 2.5). Fotovoltaik sistemin verimini etkileyen önemli parametrelerden biridir [41].



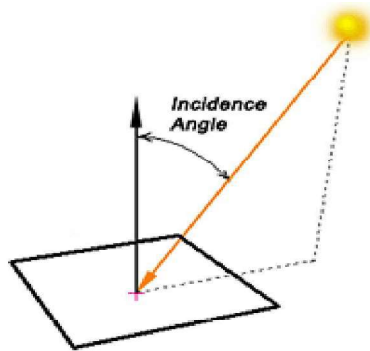
Şekil 2.5: FV modül Açısı

Modüle Geliş Açısı (Angle of Incidence – θ_{AOI})

FV modüle düşen güneş ışını ile modül düzlemine dik varsayımsal çizgi arasındaki açıdır (Şekil 2.6) ve θ_T ; modül açısı, θ_Z : zenit açısı, $\theta_{AZ,array}$: modül azimut açısı, θ_{AZ} : azimut açısı olmak üzere;

$$\theta_{AOI} = \cos^{-1}(\cos(\theta_T) * \cos(\theta_Z) + \sin(\theta_T) * \sin(\theta_Z) * \cos(\theta_{AZ} - \theta_{AZ,array})) \quad [2.5]$$

eşitliği ile ifade edilir.



Şekil 2.6: FV modüle Geliş Açısı

2.1.2- Işınım

Işınım bir alan üzerinde güneş ışınlarının sahip olduğu kullanılabılır gücü ifade eder. modül yüzeyine düşen ışınım miktarını hesaplamak için kullanılan parametreler bu bölümde tanımlanmıştır [41].

Güneşten hiçbir yere sapmadan ya da saçılmadan yüzey alanına doğrudan düşen ışınım **Doğrudan Gelen Işınım**'dır (**Direct Normal Irradiation – DNI**) ve oluklu radyometre ile ölçülmektedir.

Güneş ile ışıını alan yüzey arasındaki doğrultudan değil, atmosfer partiküllerinden yayılarak ya da saçılarak yüzey alanına düşen ışınım **Dağınık Gelen Işınım (Diffuse Horizontal Irradiation – DHI)**'dır. Yüzeyden yansıyarak gelen ışınım da Dağınık Gelen Işınım sınıfı içerisine girer. Piranometre ile ölçülmektedir.

Küresel Yatay Işınım yeryüzünde yatay düzlem üzerine düşen ışınım **Küresel Yatay Işınım**'dır (**Global Horizontal Irradiation – GHI**). Piranometre ile GHI parametresi ölçülebilmektedir. GHI parametresi;

$$GHI = DHI + DNI * \cos(\theta_z) \quad [2.6]$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

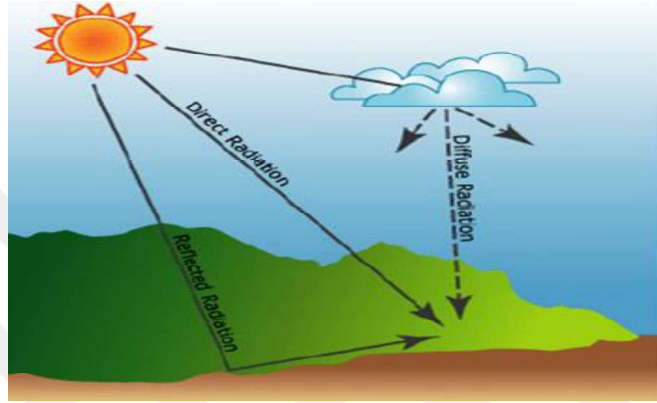
Albedo terimi Latince'den gelmekte ve yüzeyin parlaklık derecesini ifade etmek için kullanılmaktadır. Eğer yüzey zifiri karanlık ise albedo parametresi "0", çok parlak ise "1" değerini alır. PVsyst yazılımında çeşitli yüzey alanlarının albedo derecesi belirtilmiştir (Çizelge 2.1) [42]. Albedo derecesi ne kadar fazla ise birim alanda yansıyan güneş ışını miktarı o kadar fazladır.

Çizelge 2.1: Yüzeyin Cinsine Göre Albedo Dereceleri

Güneş Işınının Temas Ettiği Yüzey	Albedo Derecesi
Çim	0.15-0.25
Taze kar	0.82
Sulu kar	0.55-0.75
Kuru asfalt	0.09-0.15
Yaş asfalt	0.18
Beton	0.25-0.35
Beyaz Boyalı Yüzey	0.5-0.9
Yansıtma Oranı Fazla Çatı Yüzeyi	0.6-0.7
Kiremit	0.33
Alüminyum	0.85
Bakır	0.74
Galvaniz çelik	0.35
Çok kirli ya da paslı çelik	0.08

FV modüllerin yüzeyine düşen ışınlam Modül Yüzeyine Düşen Işınlam olarak isimlendirilir (Plane of Array Irradiance POAI) (Şekil 2.7). Işınlam, bu evreden sonra atmosfer partiküllerinden ya da çevresel faktörlerden etkilenmez. Bir piranometreyi FV modüllerin bulunduğu alan içerisinde aynı modül açısında konumlandırarak POAI parametresi ölçülebilir. Eğer böyle bir imkan yoksa GHI, DNI ve DHI değerlerinden en az iki tanesinin bilinmesi şartı ile dönüşüm modelleri kullanılarak hesaplanabilir [43], [44], [45].

$$POAI = POAI_d + POAI_{u,sky} + POAI_{u,ground} \quad [2.7]$$



Şekil 2.7: Doğrudan Gelen, Yansarak Gelen ve Dağılım Gelen Işınlam

FV modül düzlemine doğrudan hiçbir yansıma ya da saçılma olmadan güneşten düşen ışınlam olan **$POAI_d$** DNI parametresinin bir bileşenidir:

$$POAI_d = DNI * \cos(\theta_{AOI}) \quad [2.8]$$

Yerden yansıyan ve modül düzlemine düşen ışınlam olan **$POAI_{u,ground}$** GHI parametresidir ve

$$POAI_{u,ground} = GHI * Albedo * \frac{1 - \cos(\theta_T)}{2} \quad [2.9]$$

eşitliği ile verilir.

Güneş ışınlarının atmosfer partiküllerine çarparak saçılması sonucu modül yüzeyine düşen ışınlam olan **$POAI_{u,sky}$** gökyüzünden homojen gelen ışınlam, ufuk parlaklığı gibi bileşenleri bulunmaktadır. Sandia Ulusal Labavatuvarı tarafından [46];

$$POAI_{u,sky} = DHI * \frac{1 + \cos(\theta_T)}{2} + GHI * \frac{(0.012 * \theta_Z - 0.04) * (1 - \cos(\theta_T))}{2} \quad [2.10]$$

olarak verilmiştir.

2.2- Sistem Performans Parametreleri

Performans parametreleri Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin performansını analiz etmek için geliştirilmiştir. Performans parametreleri enerji üretimine, ısıtım değerlerine ve sistem kayıplarının etkisine bağlı olarak genel sistem performansını belirlemek için kullanılmaktadır [47]. Fotovoltaik sistem performansının tanımlanmasında kullanılan birçok kazanç terimi vardır:

- **Fotovoltaik Dizi Kazancı (Y_A)**, bir fotovoltaik diziden elde edilen enerji değerinin P_o güç değerine bölünmesiyle hesaplanır. Birimi kWh/kW_p/gün'dür ve

$$Y_A = E_a/P_o \quad [2.11]$$

eşitliği ile belirlenir.

- **Referans Kazancı (Y_R)**, ideal şartlarda elde edilebilecek enerjiyi belirtir. Eğer G parametresi, 1 kW/m² ise, Y_R parametresi verimli güneşlenme saatine ya da kWh/m² birimli güneş ısıtım değerine eşittir. Y_R fotovoltaik sistem için güneş ısıtım kaynağını gösterir. POAI değerinin, fotovoltaik referans ısıtım değeri G'ye bölünmesi ile elde edilir;

$$Y_R = POAI/G_o \quad [2.12]$$

$$Y_R = (\text{kWh} / \text{m}^2) / (1 \text{ kW/m}^2)$$

- **Final Kazancı (Y_F)**, yıllık, aylık ya da günlük elde edilen AC enerji değerinin, santralin standart test koşullarında maksimum kurulu gücü değerine bölünmesiyle elde edilir;

$$Y_F = E_{AC}/P_o \quad [2.13]$$

Birimi kWh/kW_p/gün'dür.

- **Performans Oranı (PR)**, final veriminin referans verime oranıdır. Performans oranı kullanılabilir enerjinin hiç kayıp yaşanmayacak ideal fotovoltaik sistemin ürettiği enerjiye oranıdır. Bu parametre değişik yerlere kurulumu yapılmış şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerjinin karşılaştırılması için kullanılır ve FV dizi kazancı ve referans kazancı cinsinden;

$$PR = (Y_A/Y_R)*100 \quad [2.14]$$

eşitliği ile tanımlanır.

- **Kapasite Faktörü (CF)**, santralde üretilen enerjinin, teorik olarak elde edilebilecek en yüksek enerji değerine oranıdır ve

$$CF = E_{AC} / (365*24* (P_o)) \quad [2.15]$$

olarak ifade edilir.

- **Evirici Verimi (η_{inv})**, evirici verimi, eviricinin çıkış gücü olan AC gücün giriş gücü olan DC güce oranıdır.

$$\eta_{inv} = P_{AC}/P_{DC} \quad [2.16]$$

- **Sistem Verimi (η_{sys})**, anlık sistem verimi FV modül veriminin evirici verimi ile çarpımından elde edilen sonuçtur.

$$\eta_{sys} = \eta_{pv} * \eta_{inv} \quad [2.17]$$

2.3- Sistem Kayıp Parametreleri

Bu bölümde fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen kayıp faktörleri olan Yansıma Kaybı, DC Omik Kayıp, Tozlanma Kaybı, Isıl Kayıp, Uyuşmazlık Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Gölge Kaybı'nın hesaplanması için hazırlanmış bir ya da birden fazla çalışma ele alınmıştır. Seçilen çalışmalarda bulunan formüller Kesim 3.1 ve Kesim 3.2'de Gölbaşı GES ve Torbalı GES tesislerinin kayıp parametreleri hesaplanırken kullanılacaktır.

- **Yansıma Kaybı (IAM Loss)**

FV modül düzlemine dik açıda ulaşmayan güneş ışınları hava ile modül malzemesi aynı kırılma indisine sahip olmadığı için belli oranda düzlem üzerinden yansır (Şekil 2.8). Güneş ışınları güneş gözesine ulaşana kadar en büyük yansıma kaybı havadan temperli cama geçişi esnasında olur [48]. Bunun yanı sıra, yansıma kaybı güneş ışınlarının camdan EVA malzemesine ve EVA malzemesinden gözeye geçişi sırasında da meydana gelir. Kristal yapıdaki modüllerde STK'da %5'lik yansıma kaybı meydana gelmektedir [48].



Şekil 2.8: Güneş Işınlarının FV modülünden Yansıması

Yüzeyden yansıyan ışınlar sonucu oluşan kayıp Fresnel Kanunları'ndan yola çıkarak hesaplanır [48]. Fotovoltaik sistemlerde modül yüzeyi yansımasından oluşan kayıp modellemek için ASHRAE Modeline göre [49] yansıma kaybı;

$$IAM_B = 1 - b_0 * \left(\frac{1}{\cos(\theta_{AOI})} - 1 \right) \quad [2.18]$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada b_0 ; ASHRAE sabiti, θ_{AOI} ; modüle geliş açısıdır.

Tek camlı ısıl kollektörlerde b_0 parametresi 0.1 alınır. Fotovoltaik modüllerde yapılan deneylerde kristal FV modüllerinde b_0 değerinin 0.05 olduğu görülmektedir [49].

- **DC Omik Kayıp**

Bu bölümde Torbalı ve Gölbaşı'nda bulunan tesislerdeki omik kayıpların hesaplanması için kullanılacak formüllere yer verilmiştir. Gerilim düşümü ve güç kaybı hesaplarının formülleri temel fizik kitaplarının içerisinde yer almaktadır. Eviriciden elde edilen DC akım, dizi gücü ve kablo mesafe değerleri ile güç kaybı hesabı formülleri kullanılarak, DC kablo kayıpları [50];

$$P_{DCkayıp} = I_{MPP}^2 * R_{ave} \quad [2.19]$$

$$R_{ave} = L / (k * q) \quad [2.20]$$

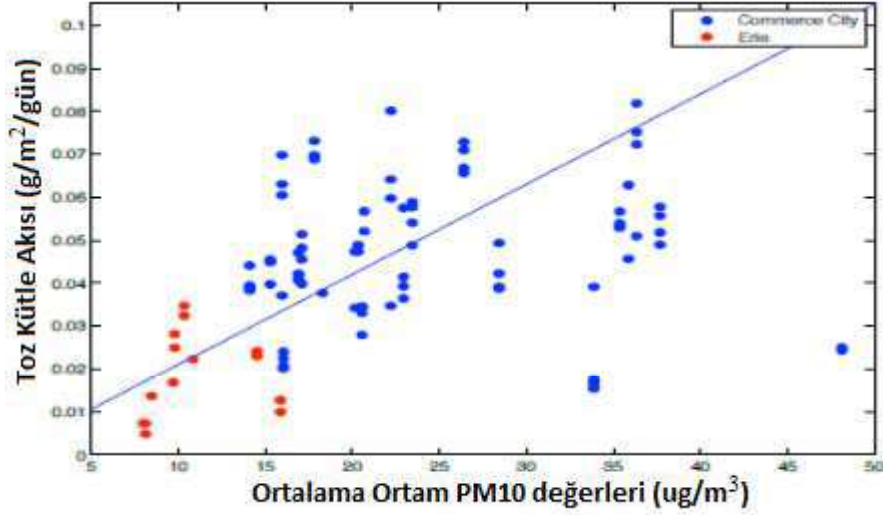
$$\%P_{loss} = P_{DCkayıp} / P_{dizi} \quad [2.21]$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Burada I_{MPP} ; maksimum güç noktasındaki akım, R_{ave} ; ortalama direnç, L ; kablo uzunluğu, k ; öziletkenlik katsayısı, q ; iletken kesidi, $P_{DCkayıp}$; DC güç kaybı, $\%P_{loss}$; yüzde güç kaybıdır.

DC toplama kutusu, eviriciye kadar oluşan omik kaybı azaltmak için kullanılan bir ekipmandır. Bu sistemde modüllerden elde edilen DC enerji, toplama kutusunda toplanıp daha büyük kesitli + ve - kutuplu kablolar ile eviriciye gider. Altun Grup Solar Enerji bir eviriciye 4 fotovoltaik dizinin bağlı olduğu GES tesislerinde toplama kutusu kullanmamayı; FV modül evirici arası kablo mesafesi 120 metreden küçük ise 6 mm² kesitli, büyük ise 10 mm² kesitli bakır DC kablo kullanmayı tercih etmiştir [51].

- **Tozlanma Kaybı**

Kolorado Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada iki deney düzeneği kurularak 10 µm'den küçük yarıçapta olan toz birikintileri ile fotovoltaik kaplamalar doğal yoldan tozlandırılıp belirli periyotlarda veriler alınarak izlenmiştir [52]. Deney düzeneklerinden biri Pensilvanya'nın Erie, diğeri ise Kolorado'nun Commerce City şehirlerinde kurulmuştur. Elde edilen sonuçlar, hava kalite indeksi olarak kullanılan PM10 parametresinin FV modüller üzerinde biriken toz birikintileri ile ilişkili olduğunu göstermektedir [52]. Yapılan çalışmada ortalama PM10 konsantrasyonlarına göre ölçülen toz birikmesi oranları Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9: Kolorado Commerce City (kırmızı) ve Pensilvanya Erie (mavi) şehirlerinde kurulan deney düzeneklerinde PM10 ve düzlem üzerindeki toz kütle akısı arasındaki ilişki

Bu çalışmada 92 örnek ile oluşturulan verilerden Şekil 2.9’da görüldüğü gibi en iyi uyum doğrusu (lineer fit) metodu kullanılarak bir doğru elde edilmiş ve FV modül üzerindeki toz birikintisi miktarının hesaplanması için Eşitlik 2.22’deki formül geliştirilmiştir:

$$\omega = 2.4 * PM10 \quad [2.22]$$

eşitliği geliştirilmiştir. Burada, PM10 bu formülde ortamdaki havanın partikül konsantrasyonunu ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$), ω ise toz kütle akısını ($\text{g}/\text{m}^2/\text{gün}$) ifade etmektedir. Toplanan örneklerde rüzgar hızı 0.5 cm/s ile 5 cm/s arasında değişirken düzeneğin üzerindeki toz birikintilerinin yarıçapı da 5-10 μm arasında değişmektedir. [53].

Aynı ekip bir başka çalışmada FV modüller üzerinde biriken partiküllerin kütle akısı ile iletim kaybına etkisini incelemek için yaptıkları deneyler sonucunda, modülde 1 $\text{g}/\text{m}^2/\text{gün}$ kütle akısına sahip toz birikintisine maruz kalırsa %5,8 oranında iletim kaybı meydana geldiği ileri sürmüşlerdir [54].

$$\Delta\tau = 5.8 * \omega \quad [2.23]$$

Kolorado Üniversitesi’nde yapılan çalışmada geliştirilen formülün kütle akısı 1.5 g/m^2 ’den az olan ve modül üzerinde biriken toz birikintileri için geçerli olduğu belirtilmiştir. Torbalı GES ve Gölbaşı GES tesislerinde de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın İlçe istasyonlarından elde edilen PM10 değerleri incelendiğinde, toz birikintilerinin kütle akısı söz konusu değerden az olduğu için bu tesislerin tozlanma kaybı hesaplanırken Kolorado Üniversitesi’ndeki çalışmada yer verilen formül kullanılacaktır.

- **Dizi Uyuşmazlığı Kaybı**

Fotovoltaik sistemlerde bulunan dizilere gölge etkisi ve güneşin modül düzlemine gelme açısının farklılığı nedeniyle aynı oranda ışıınım düşmemektedir. Bu faktörler FV modüllerdeki akım ve gerilim değerlerinin farklı olmasına yol açmaktadır. Dizilerde oluşan

elektriksel değerlerdeki farklılıklar literatürde dizi uyumsuzluğu kaybı olarak adlandırılan üretim kaybına sebep olmaktadır [55].

Fotovoltaik diziler arasında uyumsuzluk kaybını hesaplamak için bugüne kadar birçok çalışma ortaya konmuştur. Bucciarelli'nin yaptığı çalışmada M tane fotovoltaik dizinin her birinde L tane bulunan fotovoltaik sistemlerde uyumsuzluk kaybının hesaplanması için formül geliştirilmiştir [55].

FV modül karakteristiği, Eşitlik 2.25'te yer alan Bucciarelli'nin çalışmasında yer alan formül ile hesaplanabilir:

$$C = \frac{e \cdot V_{mp}}{k \cdot n_{diode} \cdot T_c} \quad [2.25]$$

Bucciarelli'nin yapmış olduğu çalışmadan yola çıkarak M tane dizili her dizisinde L tane seri bağlı modül olan her bir dizideki uyumsuzluk kaybının (ΔP) hesaplanabilmesi için

$$\Delta P = \frac{(C+2) \cdot \left[\sigma_{\eta}^2 \left(1 - \frac{1}{L}\right) + \left(\frac{\sigma_{\xi}^2}{L}\right) \left(1 - \frac{1}{M}\right) \right]}{2} \quad [2.26]$$

eşitliği geliştirilmiştir. Burada, C; göze karakteristiği; σ_{η}^2 ; maksimum güç noktasındaki akım; σ_{ξ}^2 ; maksimum güç noktasındaki gerilimi ifade etmektedir.

σ_{η}^2 ve σ_{ξ}^2 maksimum Ragüç noktasındaki akım ve gerilim değerlerinin varyansını ifade eder.

$$\sigma_{\eta}^2 = \left(\frac{\sigma_{Imp}}{I_{mp}} \right)^2 \quad [2.27]$$

$$\sigma_{\xi}^2 = \left(\frac{\sigma_{Vmp}}{V_{mp}} \right)^2 \quad [2.28]$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \right) \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}, \quad [2.29]$$

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad [2.30]$$

Gerçek saha verileri kullanılarak FV modül karakteristiğini hesaplamak için Eşitlik 2.25'teki formül ve uyumsuzluk kaybını hesaplamak için Eşitlik 2.26'daki formüller kullanılacaktır.

• Isıl Kayıp

FV modülde soğrulan güneş ışınlarının taşıdığı enerjinin bir kısmı ısıl diğer kısmı ise elektrik enerjisine çevrilir. Şu anda ticari olarak çok satılan polikristal FV modül teknolojisinde güneş enerjisinin yaklaşık 7'de 1'i ısıl enerjiye dönüşür. Bu dönüşüm güneş gözelerinin sıcaklığını etkilemektedir. Duffie ve Beckman'ın "Solar Engineering and

Thermal Processes” adlı kitabında yer verdiği enerjinin denklığınden yola çıkarak bir formül geliştirilmiştir [56].

$$(\tau.\alpha) G_T = \eta_{pv} * G_T + U_L (T_c - T_a) \quad [2.31]$$

$\tau.\alpha$ sembolü verimli iletim ve soğrulma katsayısının çarpımını, U_L ise ısı ile ilgili taşıma, radyasyon ve iletim kayıplarını ifade eder. PVsyst programında ısı kayıp hesaplamasında bu denklem kullanılmaktadır. Programda U_L için FV modülün arka yüzeyinden rüzgar alabilme derecesine göre 3 farklı sabit belirlenmiştir. G_T parametresi GES tasarımlarında ortalama STK’daki ışınlım değeri olan 1000 W/m^2 olarak alınmaktadır.

Literatürde birçok araştırmada göze sıcaklığının teorik olarak hesaplanması için formüller geliştirilmiştir. Malezya’da Sarawak Üniversitesi tarafından hazırlanan bir çalışmada bu zamana kadar FV modüllerinin sıcaklığının tahmini için geliştirilen denklemler Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’te yer almaktadır [57].

Çizelge 2.2: FV modül Sıcaklığının Tahmini için Deneysel Modellemeler [57]

Sr. #	Author (s)	Empirical Models	Comments
01	Ross (1976)	$T_c = T_a + k G_T$ where, $k = \frac{\Delta(T_c - T_a)}{\Delta G_T}$	$k = 0.02 - 0.04^\circ\text{C m}^2/\text{W}$
02	Rauschenbach (1980)	$T_c = T_a + \frac{G_T}{G_{T,NOCT}} (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left(1 - \frac{\eta_m}{\tau\alpha}\right)$	With constant Heat loss coefficient (U_L) and $V_w > 1\text{ m/s}$
03	Risser and Fuentes (1983)	$T_c = 3.81 + 0.0282 \times G_T - 1.31 \times T_a - 165 \times V_w$	Verified for 104 kW array with MPPT.
04	Schott (1985)	$T_c = T_a + 0.028 \times G_T - 1$	Verified for V_w from 1-1.5 m/s and T_a from 0-35°C
05	Servant (1985) (Implicit and Explicit Equations)	$T_c = T_a + \alpha G_T (1 + \beta T_a) (1 - \gamma V_w) (1 - 1.053 \eta_m)$ $T_c = T_a + \alpha G_T (1 + \beta T_a) (1 - \gamma V_w)$	$\alpha = 0.0138$, $\beta = 0.031$, $\gamma = 0.042$, Temperature taken as $^\circ\text{C}$ with constant V_w of 1 m/s. The efficiency of module was not considered in Explicit Equation.
06	Ross and Smokler (1986) (Implicit and Explicit Eq.)	$T_c = T_a + \frac{G_T}{800} (T_{c,NOCT} - 20)$ and $T_c = T_a + 0.035 \times G_T$	The equation is valid only for free standing modules and V_w taken as 1 m/s with constant U_L
07	Lasnier and Ang (1990)	$T_c = 30.006 + 0.0175 (G_T - 300) + 1.14 (T_a - 25)$	For p-Si modules only, T in $^\circ\text{C}$, V_w and U_L were not taken into account

Çizelge 2.3: FV modül Sıcaklığının Belirlenmesi için Modellemeler [57]

Sr. #	Author (s)	Empirical Models	Comments
01	Didier (2001)	$T_c = T_a + \frac{(T_{c,NOCT} - 20)}{800} (219 + 832 \bar{K}_t)$ $C_f = 1 - 1.17 \times 10^{-4} (S_M - S)^2$	For non-optimal values, use a multiplier with $\bar{K}_t$. S_M denotes optimal tilt angle and S actual tilt angle (Degrees)
02	Krauter (2004)	$T_c = T_a + k G_T$ and $k = 0.0058, 0.012$ and 0.03	The value of k for lower, upper and usual modules
03	Mondol <i>et al.</i> , (2005 and 2007)	$T_c = T_a + 0.031 G_T$ and $T_c = T_a + 0.031 G_T - 0.058$	T_c is taken as mean of front and back temp. of module $^\circ\text{C}$, $V_w > 1\text{ m/s}$ with constant U_L
04	Duffie and Beckman (2006)	$T_c = T_a + \frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \left(\frac{9.5}{5.7 + 3.8 V_w} \right) \times (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) (1 - \eta_m)$	The value of transmittance and absorbance product ($\tau\alpha$) was taken as 0.9 Coefficient of heat losses (U_L) was associated with wind speed
05	Chenni <i>et al.</i> , (2007)	$T_c = 0.943 T_a + 0.028 G_T - 1.528 V_w + 4.3$	Coefficient of heat losses (U_L) was not taken into account

Bir fotovoltaik sistemdeki ısı kayıp bulmak için üzerinde durulması gereken parametre güneş gözesi sıcaklığıdır. Göze sıcaklığını tahmin ettikten sonra geriye yüzdesel olarak ısı

kaybın hesaplanabileceği bir formüle gereksinim duyulmaktadır. Hindistan Anna Üniversitesi'nde S. Satish Kumar ve C. Nagarajan hazırladıkları çalışmada ısı kaybı hesaplamak için bir formül geliştirmişlerdir [58]. β ; fotovoltaiik modülün sıcaklık katsayısı, T_c ; göze sıcaklığı olmak üzere,

$$\eta_{tem} = 1 + \beta(T_c - 25) \quad [2.32]$$

eşitliğini önermişlerdir.

Torbalı ve Gölbaşı tesislerinde ortalama göze sıcaklıklarının hesaplanması Rauschenbach ve Chennai'nin yaptığı çalışmalarda yer alan formüller kullanılacaktır. Sıcaklık kaybının hesaplanması için Eşitlik 2.32'deki formül kullanılacaktır.

- **Işık Eşlikli Bozulma (Light Induced Degredation – LID Loss)**

Işık Eşlikli Bozulma, güneş gözelerinin güneş ışınlarına maruz kalmasından sonra belirsiz bir süre içerisinde oluşan kayıp olarak tanımlanabilir. 2008 yılında yayımlanan Photon International isimli dergide LID kaybı, üretim safhasında, p katkılı silisyumun kristalize yapıya sahip olması için eritilmesi esnasında havadaki oksijen atomlarının yarı iletkeni nüfus etmesi ve güneş ışınlarına maruz kalması ile birlikte yarı iletkenin verime olan katkısının azalması olarak tanımlanmıştır [34].

Hameln Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü (ISFH) güneşe ilk maruz kalma etkisini 10 yılı aşkın süredir araştırmaktadır. Yapılan çalışmalarla birlikte kaybın %3 civarında olduğu ileri sürülmüştür [34].

Güneş gözeleri üretildikten sonra Işık Eşlikli Bozulma kaybının azaltılması için AR-GE düzeyinde araştırmalar yürütülmektedir. ABD'nin Teksas eyaletinin Austin şehrinde 2012 yılında gerçekleşen IEEE Fotovoltaiik Uzmanlar Konferansı'nda, aralarında Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı gibi, yenilenebilir enerji AR-GE çalışmalarına büyük yatırımlar yapan bir kurumda çalışan kişilerin bulunduğu bir grup araştırmacı, Işık Eşlikli Bozulmanın, gözelerin 200 °C sıcaklıkta tavlama ile azaltılabileceği ile ilgili yaptıkları çalışmada, gözelerin güneş ışınlarına 72 saat maruz kaldıktan sonraki enerji kaybı değerini de paylaşmışlardır. Bu çalışmaya göre silisyum FV gözelerin güneş ışınlarına maruz kalmadan önceki verimlilik yüzdesi %17.45, kaldıktan sonraki yüzdesi ise %16.96'dır. Bu duruma göre verimlilik kaybı %2.81'dir. Güneş gözeleri 200 °C'de 30 dakika boyunca tavlandıktan sonra Işık Eşlikli Bozulma kaybı %0,69'a kadar düşmüştür. [59].

Dünyada kristal silisyum FV modül üretimi yapan ve büyük seviyelerde satış miktarlarına ulaşan firmaların kataloğunda doğrusal performans eğrisinde güneşe ilk maruz kalma etkisi yer almaktadır. Bu oran %2,5 ile %3 arasında değişmektedir (Çizelge 2.4) [60].

Çizelge 2.4: En Çok Satış Yapan Firmaların FV modüllerinde Görülen LID Kaybı

	Trina Solar	Solar World	Hanwha Q Cells	Jinko Solar	Solar Fabrik
LID Loss (%)	2,5	3	3	2,5	3

- **Gölgelenmeden Oluşan Kayıp**

Bu bölümde fotovoltaik sistemlerde gölge kayıpları konusunda yapılan deneysel çalışmalar incelenmiştir. Bir çalışmada farklı tip eviriciler kullanılarak gölgelenin performansa etkisi incelenmiş, diğer çalışmada ise fotovoltaik modüller farklı seviyelerde gölgelere maruz bırakılarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır [61] [62].

Galve Üniversitesi Enerji ve Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yürütülen çalışmada parçalı gölgelenmenin mikro eviricili, dizi eviricili ve DC-DC doğrultuculu sistemlerde olan etkisi incelenmiştir [62]. Kurulan deney düzeneğinde evirici ve doğrultuculu sistemlerde 6 adet özdeş FV modül kullanılmıştır. Dizi evirici (string inverter) sisteminde 6 modül seri olarak bağlanmıştır. Doğrultucu bulunan sistemde her modüle bir doğrulayıcı düşmektedir. Mikro eviricili sistemde ise iki paralel bağlı FV modül bir eviriciye bağlı ve 3 mikro evirici doğrudan şebekeye bağlıdır. Sistemlerin sırasıyla bir modülündeki bir gözesi, iki gözesi, üç gözesi ve alt yatay sıradaki 6 göze parçalı gölgelere maruz bırakılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde, gölge bir modülde dizi ve mikro eviricili sistemlerde iki gözeye düştüğü durumda aynı sonuç elde edilmiştir (Çizelge 2.5). Doğrultuculu sistemde ise en az güç elde edilmiştir. Bunun sebebi, doğrultucunun gerilim aralığı teorik MPP'den daha fazladır. Dolayısıyla, doğrultucu gerilimin büyük olduğu noktaya ulaşmaya çalışır ve daha az akım elde edilir. Maksimum güç noktasında gölge düşen modül maksimum akım veriyorsa, doğrultucu ve mikro evirici gücü arttıramaz. Eğer bir FV modülde 1 ya da 3 alt modüle gölge düşmez ise modül maksimum akımı verir. İki alt modül gölgelenirse doğrultuculu sistemden en az güç elde edilir. Eğer 3 alt modülünden sadece bir göze tamamen gölgelenirse, modülünden maksimum gerilim elde edilemez ve parçalı gölgelenmenin etkisini azaltmak için doğrultuculu ve mikro eviricili sistemin bir avantajı olmaz. Diğer yandan eğer gölge düşen modül gölge düşmeyenden daha az akım üretiyorsa, doğrultucunun ve mikro eviricinin performansa katkısı olur. Bu cihazların V_{mp} aralığına dikkat edilmelidir çünkü eğer bir modül V_{mp} aralığından düşük gerilim üretirse kullanılan cihazların avantajı olmaz, dizi eviriciden daha yüksek güç elde edilir.

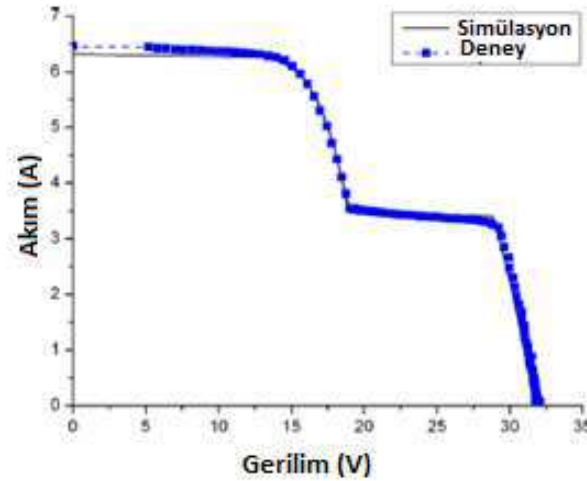
Çizelge 2.5: Galve Üniversitesi'nde Yapılan Deneyde Farklı Gölgeleme Senaryolarının Karşılaştırılması

	Hiç bant olmayan duruma göre gücün yüzdelik oranı %		
	Diyot	DC-DC optimizer	Mikro evirici
Bant yok	100	100	100
Bir gözede bant	95,6	94,2	96,5
İki gözede bant	86,5	83,5	89,7
Üç gözede bant	84,2	85,3	85,9
Yatay sıranın %30'unun gölgede olduğu durum	83,2	93,7	94,6

Maliyet ve performans açısından fotovoltaik sistemleri değerlendirdiğimizde, gölgelenme durumlarında göstermiş olduğu yüksek performans sebebiyle mikro eviricili sistemin küçük ölçekli sistemler için uygun olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Nanjing Güneydoğu Üniversitesi'nde Jianbo Bai tarafından yapılan bir çalışmada, farklı koşullara maruz kalan ve aynı olmayan modüllerin parçalı gölgelenme altında simülasyon için bir metod sunulmaktadır [61].

Metodun doğruluğunu incelemek için 230 Watt gücünde çoklu kristal silisyum modül kullanılmış ve 3 gözesi farklı oranlarda gölgelere maruz bırakılmıştır.



Şekil 2.10: Bir gözenin %50 gölgeye mağruz bırakılması sonucu elde edilen deneysel ve teorik I-V eğrileri [61]

Deney sonuçları makalede yer alan metod parçalı gölgelenmiş modül için yapılan simülasyon sonuçlarının yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu göstermektedir. Geliştirilen metod kompleks işletme koşullarında çalışan fotovoltaik sistemlerin elektriksel değerlerin tahmininde kullanılabilir.

Gölbaşı GES ve Torbalı GES tesisleri gibi ev ölçekli sistemlerden kurulu güç olarak çok büyük fotovoltaik sistemlerde mikro evirici ya da DC doğrultucu gibi ekipmanların kullanılması maliyeti oldukça arttırabilir. Dizi evirici kullanmak hem kurulum aşamasında maliyet açısından daha uygundur, hem de kontrol edilen ekipman sayısı azalacağı için işletme bakım sürecinde de maliyet açısından daha uygun olacaktır. Altungrup Solar Enerji firması bu durumları göz önünde bulundurarak kurulumunu yapmış olduğu Güneş Enerjisi Santralleri'nde dizi evirici tercihi bulundurmaktadır. PVsyst programında bir yılda gölge kaybı hesaplanırken her günün gölge simülasyonu Güneş'in Dünya'ya göre konumuna göre yapılır. Bu hesaplamada kuş pisliği, aşırı tozlanma ya da belli mevsimlerde yaşanabilecek yaprak gibi cisimlerin yaratacağı gölge gibi faktörler hesaba katılmamıştır. Bu çalışmada PVsyst gölge kaybı değerleri kullanılacaktır.

3. SAHA VERİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde Torbalı GES ve Gölbaşı GES tesis bilgilerine, sıcaklık, ısıtım, performans ve kayıp parametrelerine yer verilmiştir. Tesisler şebekeye bağlı çalışan sabit eksenli fotovoltaik sistemlerdir. Torbalı GES bir çatı uygulaması iken, Gölbaşı GES tesisinde çatı, otopark ve arazi uygulamaları mevcuttur.

3.1) Torbalı Güneş Enerjisi Santrali Tesisi Verileri

Altun Grup Solar Enerji tarafından kurulumu tamamlanıp 2014 yılında devreye alınan Torbalı GES tesisi 593 kW_e kurulu güce sahiptir. Özel bir firmanın soğuk hava deposu arazisine kurulmuş bu tesis, Türkiye'nin Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'ne göre geçici kabulü yapılmış ilk GES tesislerinden biridir [63]. Deniz seviyesinden 63 metre yükseklikte bulunan tesisin konumu 38.21 ° kuzey enlemi ve 27.37° doğu boylamındadır. FV modülleri 26° güney batıya bakacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 3.1).°



Şekil 3.1: Torbalı GES Tesisi Yerleşim Planı Sınırı

İzmir ili Torbalı ilçesinde bulunan soğuk hava deposunun çatısında yüklenici firma 10780 m²'lik alanda santralin uygulama safhasını tamamlamıştır. Sandwich panellerden oluşan çatı yapısının aşık sistemi statik açıdan montaja elverişli durumdadır. Çatının mahyaları, kuzey güney doğrultusundadır. Kuzeye bakan mahyada FV modülünü güneye bakacak şekilde eğim verecek konstrüksiyon sisteminin maliyeti fazla olacağından, kuzeye bakan mahyalara modül yerleştirilmemiştir. Türkiye'de sabit eksenli fotovoltaik sistemlerde FV modüllerinin maksimum DC enerji üreteceği açı 30° civarındır [64]. Ancak Torbalı'daki sistemde güneye bakan kısımdaki 12°'lik eğimi 30°'ye yükseltecek konstrüksiyon sistemi de

maliyetli olduğu düşünölmüştür. Bu nedenle depo çatısının güney mahyalarına hem yüz montaj yapılmasına yüklenici tarafından teklif sunulup işveren tarafından karar verilmiştir.



Şekil 3.2: Torbalı GES çatı görünümü

Sistemde 2280 adet 260 Wp Solar World marka fotovoltaiik modölin yanında, toplamda 152 adet fotovoltaiik dizi bulunmaktadır. Her eviriciye 4 dizi paralel olarak bağlanmaktadır. Sistemde üretilen DC enerjiyi AC enerjiye çeviren 38 adet 15 kW_e gücünde evirici mevcuttur (Şekil 3.3). Eviriciler toplamda 4 adet AC toplama panosuna bağlıdır. AC toplama panoları vasıtasıyla üretilen enerji ana dağıtım panosuna gelir. Gerilim 400 Volt iken 1600 kVA transformatör vasıtasıyla 31500 Volt gerilime çevrilir. Enerji trafo köşkünden yüksek gerilim seviyesinde bağlantı noktasına aktarılmış olur. Şekil 3.4’te fotovoltaiik modöllerden eviricilere kadar olan elektriksel ekipman detaylarının bulunduğu tek hat şeması yer almaktadır.



Şekil 3.3: 38 adet Platinum Marka Solar Evirici

Torbalı GES'te sıcaklığın verime etkisinin özellikle bu aylarda takip edilmesi gerekmektedir.

Enerji Üretimi (kWh)

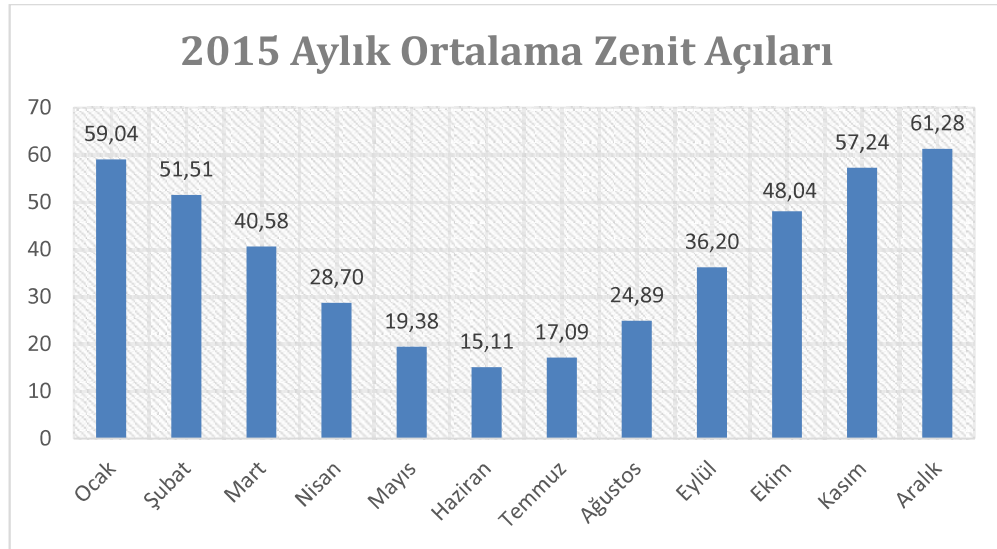
Santralin enerji değerleri her bir eviriciden ayrı olarak elde edilmiştir. Bu değerler aynı zamanda santralin verilerinin internet üzerinden takip edilebilmesi için kurulan Solarlog görüntüleme sistemindeki verilerle aynıdır (Çizelge 3.1). Aylık en yüksek AC enerji üretim değeri 110,65 MWh ile Temmuz ayına, en düşük aylık AC enerji üretim değeri ise 36,06 MWh ile Ocak ayına aittir. Bu değerler aylardaki fotovoltaik modüllere gelen yatay ışınım değerlerine göre değişiklik göstermektedir. Ocak ayının Aralık ayına göre yatay ışınım değeri daha yüksek olmasına karşın, Ocak ayında enerji üretimi daha az görülmektedir. Ocak ayı en çok evirici arızasının görüldüğü ve DC sigortasının en çok devre dışı kaldığı aydır. Sistemde 2015 yılında 848,8 MWh elektrik üretilmiştir.

Çizelge 3.1: Günlük ortalama, aylık ve yıllık toplam enerji üretimi değerleri

Ay	Günlük Ortalama Enerji Üretimi (AA MWh)	Aylık Toplam Enerji Üretimi (AA MWh)	Yıllık Toplam Enerji Üretimi (AA MWh)
Ocak	1,163	36,058	
Şubat	1,551	43,437	
Mart	1,874	58,109	
Nisan	2,998	89,935	
Mayıs	3,280	101,692	
Haziran	3,414	102,413	
Temmuz	3,569	110,650	848,804
Ağustos	3,078	95,425	
Eylül	2,420	72,587	
Ekim	1,923	59,609	
Kasım	1,398	41,939	
Aralık	1,192	36,950	

3.1.1) Güneş Açıları

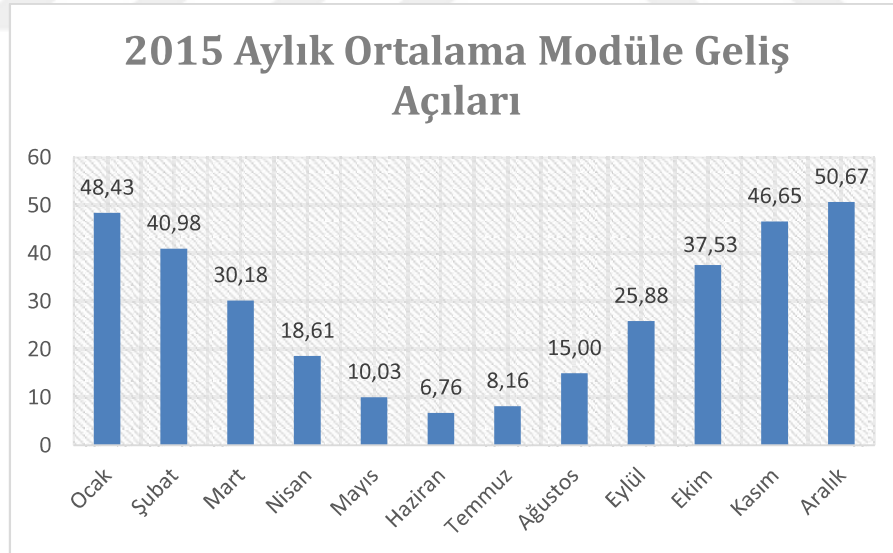
Şekil 3.7'de Torbalı GES tesisi için ortalama Zenit açılarının aylık dağılımı görülmektedir. Haziran Ayı'nda zenit açısı en düşük olarak gözlenirken, Aralık Ayı'nda en yüksek değerini alır.



Şekil 3.6: Torbalı GES Sahasında Aylık Ortalama Zenit Açıları

Kuzey yarımkürede tam olarak güneye bakan FV modüllerinin azimut açısı 180° , güney yarımkürede tam olarak kuzeye bakan FV modüllerinin azimut açısı 0° derecedir. Buna göre Torbalı GES tesisinde FV modüllerinin Kesim 2.1’de tanımlanan azimut açısı $\theta_{AZ,array}$ 206° , $\theta_{AZ,avg}$ ise 180° ’dir.

Şekil 3.8’de aylara göre ortalama aylık Modüle Geliş Açıları görülmektedir. Zenit açısı, modül açısı ve azimut açıları ile modüle geliş açıları hesaplanır.

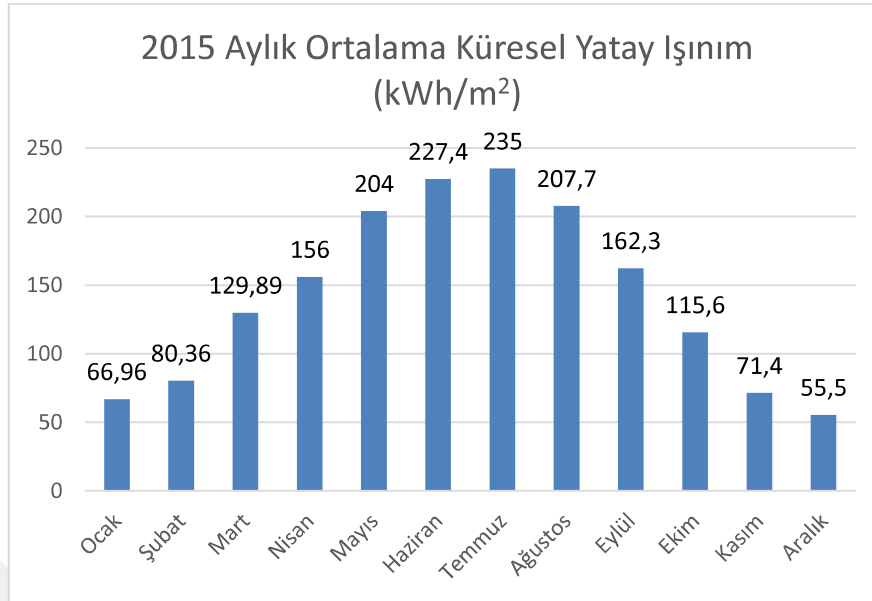


Şekil 3.7: Torbalı GES Sahasında Aylık Ortalama FV modüle Geçiş Açıları

3.1.2) Işınım Değerleri

Torbalı GES konumuna ait küresel yatay ışıınım değerleri NASA SSE veritabanından elde edilmiştir [66]. Sistemdeki veriler tez çalışması için ortalama aylık değerler olarak

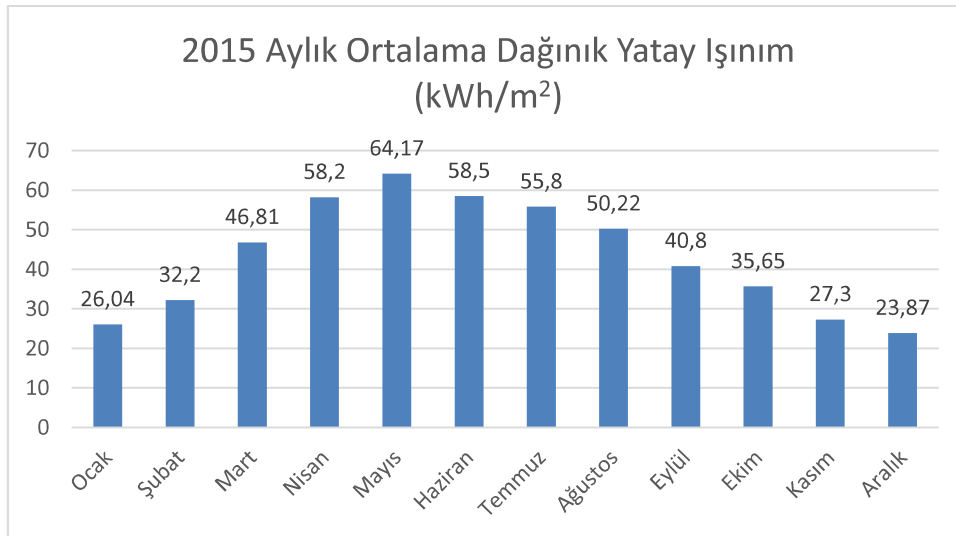
alınabilmektedir. 2015 yılında toplam küresel yatay ışınlam değeri 1712,2 kWh/m²'dir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: 2015 yılına ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama küresel yatay ışınlam değeri [66]

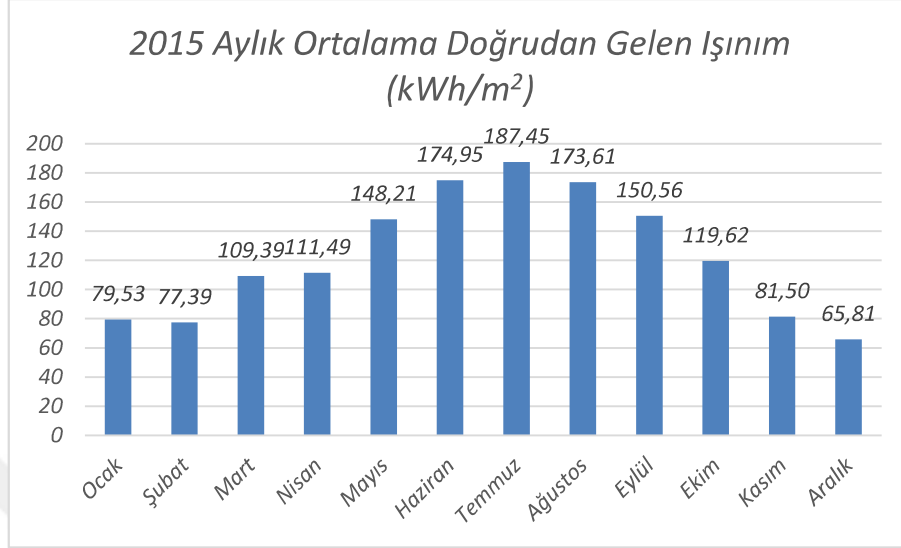
Şekil 3.9'dan görüldüğü gibi; Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında düşen ışınlam tesise bir yılda toplam düşen ışınlamın neredeyse yarısıdır. Bu sebeple bu aylarda sistemin yüksek performansta çalışması önem arz etmektedir.

Torbalı GES tesisinde 2015 yılında fotovoltaik modüllerin yüzeyine düşen toplam Dağınlık Yatay Işınlam değeri 519,56 kWh/m²'dir [66]. Şekil 3.10'dan görüldüğü gibi, aylık DHI değeri Mayıs ayından Aralık ayına doğru azalmaktadır.



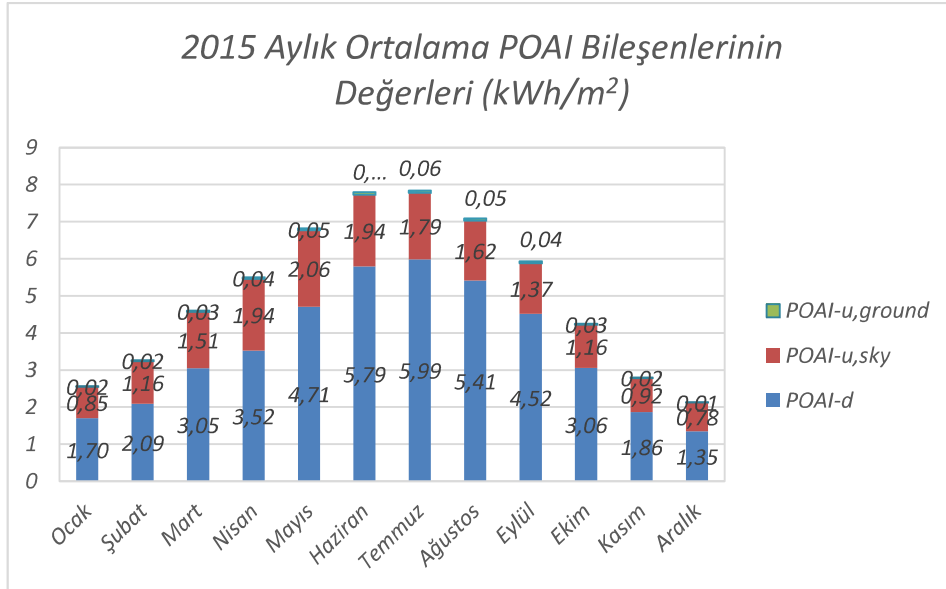
Şekil 3.9: 2015 yılına ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama dağınlık yatay ışınlam değeri [66]

Torbalı'nın küresel yatay ışınlm değerleri NASA SSE veritabanından elde edilmiş olup 2015 yılında toplam DNI değeri 1479,5 kWh/m²'dir [66]. Şekil 3.11'de, Temmuz ayında modül alanına doğrudan gelen ışınlm miktarı diğer aylara göre daha fazla olduğu görülmektedir.

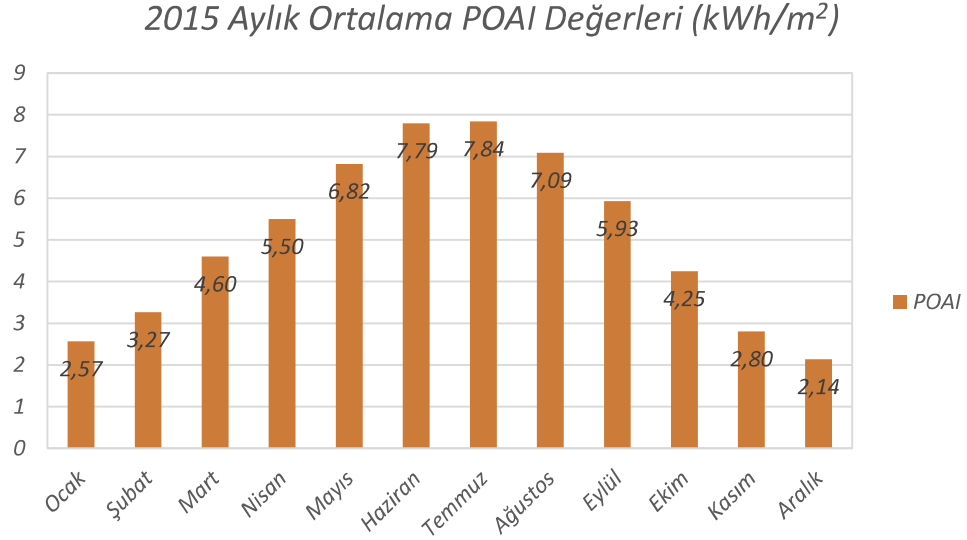


Şekil 3.10: 2015 yılına ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama küresel doğrudan gelen ışınlm değerleri

Torbalı GES için 2015 yılında FV Modüle Düşen Işınlmı (POAI) hesaplamak için NASA-SSE veritabanından elde edilen GHI, DHI ve DNI değerleri kullanılmıştır. Bu değerler ile modül düzlemine yerden yansıyarak (POAI_{u,ground}), atmosfer partiküllerinden saçılarak (POAI_{u,sky}) ve dik (POAI_d) olarak gelen ışınlm değerleri Eşitlik 2.7, Eşitlik 2.8, Eşitlik 2.9 ve Eşitlik 2.10 kullanılarak hesaplanmıştır. POAI ve bileşenlerinin çizelgesine EK-1 bölümünde yer verilmiştir.



Şekil 3.11: Torbalı GES'e 2015 Yılında Aylık POAI Bileşenlerinin Değerleri

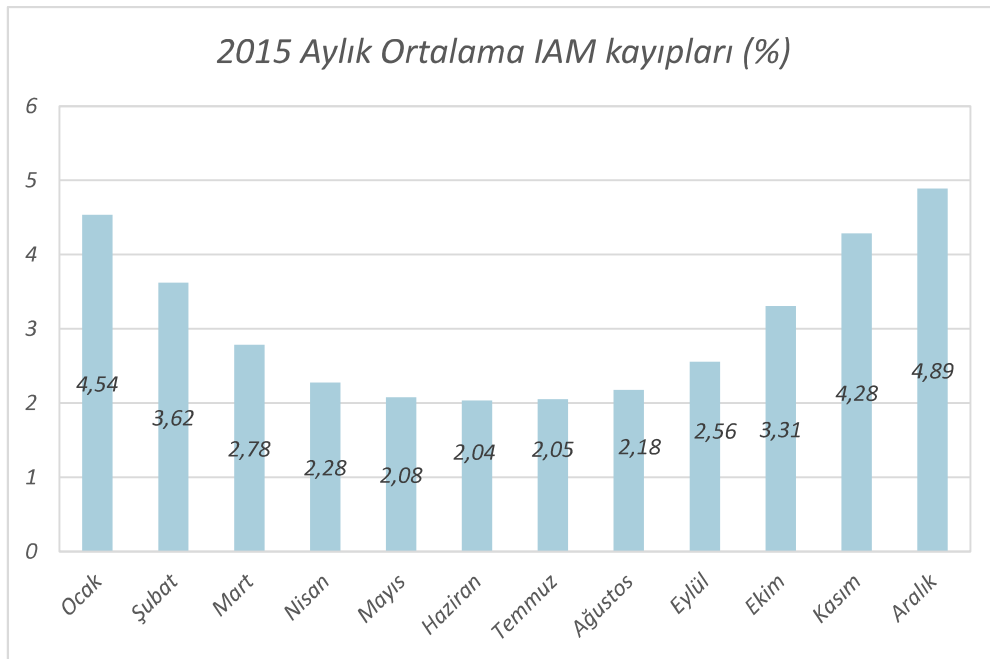


Şekil 3.12: Torbalı GES’e 2015 Yılında Aylık POAI Değerleri

3.1.3) Kayıp Parametreleri

FV modül Düzleminden Yansıma Kaybı (IAM loss)

FV modül düzleminden yansıma sebebiyle oluşan ışınlam kaybını hesaplamak için Eşitlik 2.18’de yer alan ASHRAE metodu kullanılmıştır. Metodun yer verildiği çalışmada, kristal silisyum yapıda fotovoltaik modüllerde b_0 sabiti 0.05 alınmaktadır. Torbalı’da 2015 yılında aylık geliş açıları Şekil 3.8’de yer verilmiştir. Şekil 3.14’te 2015 yılına ait aylık ortalama yansıma kayıpları görülmektedir. EK-2’de Torbalı GES tesisi için Yansıma Kaybı tablosu bulunmaktadır.



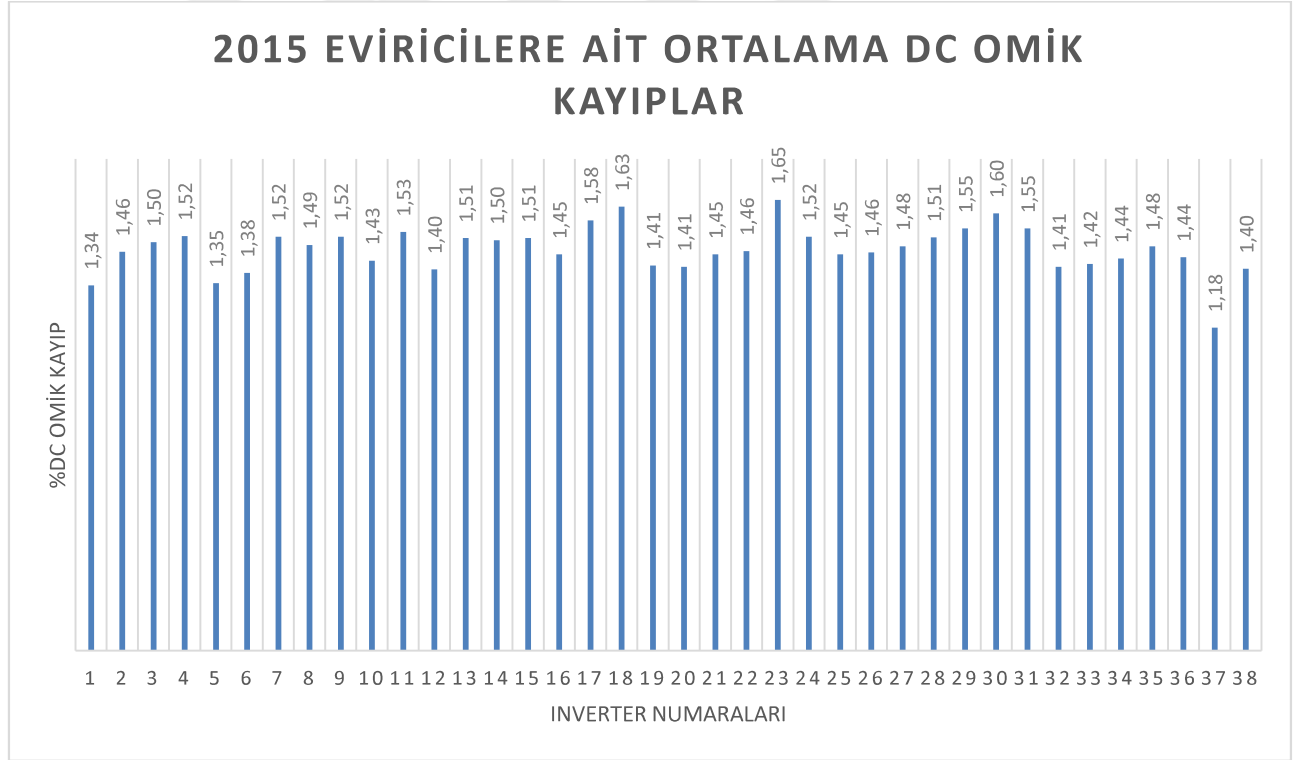
Şekil 3.13: Torbalı GES tesisinde Aylık Ortalama IAM kaybı

DC Omik Kayıp

Çatı GES tesislerinde kullanılan toplam DC kablo uzunluğu, arazilerde kurulan aynı güçte GES tesislerdeki toplam DC kablo uzunluğuna göre daha fazladır. Dolayısıyla çatı GES projesinin tasarımında DC kabloların TEDAŞ'ın belirlemiş olduğu %2'lik gerilim düşümünü geçmemesi önemlidir. Gerilim düşümünü %2'lik değerde tutmak için standart kablo kesitlerini arttırmak gerekebilir.

Torbalı GES santralinde yüklenici firma tasarım aşamasında kablo kesitini kablo uzunluğu eğer 150 metrenin altında ise 6 mm², üstünde ise 10 mm² olarak belirlemiştir. Tesisteki toplam kablo uzunluğu 19497 metre olup, bir diziye ait maksimum kablo uzunluğu 183 metredir. Güç kaybı hesabı dizide oluşabilecek maksimum akıma göre yapılmıştır. Bir FV modülün STK'da kısa devre akımı modül kataloğunda yer almaktadır.

Kesim 2.3'te yer alan DC omik kayıp denklemi Eşitlik 2.21 ile Torbalı'daki fotovoltaik sistemde tüm dizilerin ortalama kayıp değeri %1,47 olarak hesaplanmıştır. Her bir evirici için kayıp değeri Şekil 3.15'te verilmiştir ve EK 3'te her bir diziye ait omik kayıp yer almaktadır.

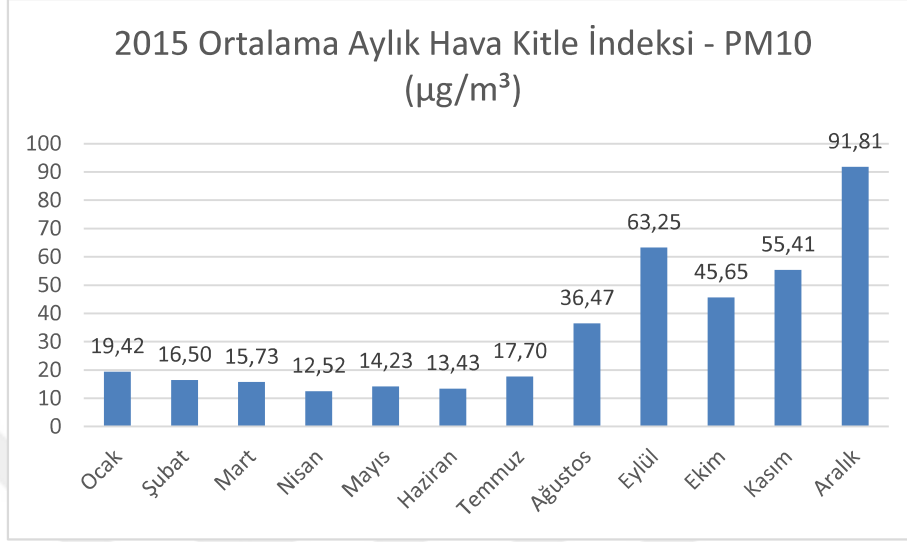


Şekil 3.14: Torbalı GES tesisinde her eviricide ortalama yıllık DC Omik Kayıp (%)

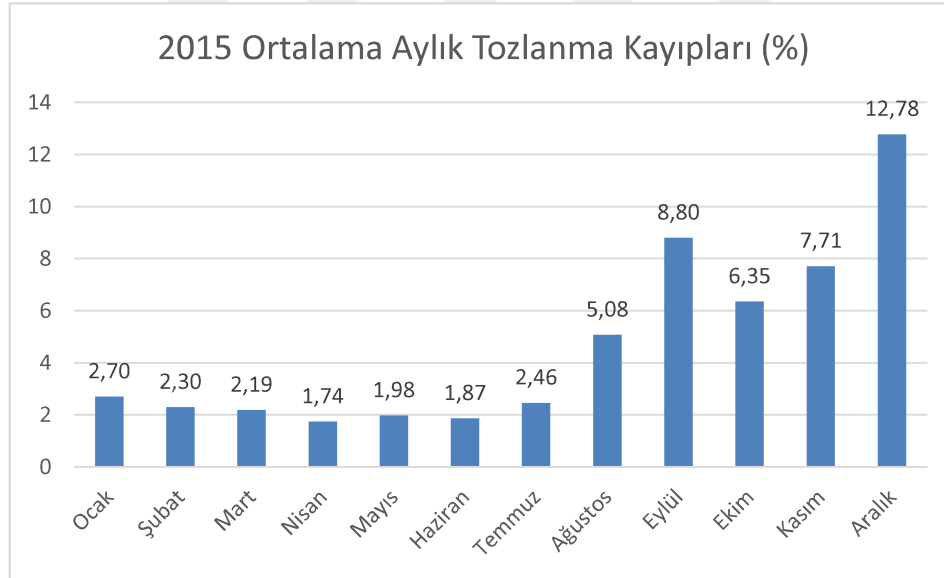
Tozlanma Kaybı

Torbalı GES tesisindeki tozlanma kaybı Eşitlik 2.22 ve 2.23 ile hesaplanmıştır. Bunun için, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın veritabanından 2015 yılındaki tüm günlerin partikül madde (PM10) değerleri alınmıştır. Torbalı'da toz kütle akısı 1,5 g/m²/gün'den az olduğu

için Kolorado Üniversite'sinde yapılan çalışma, Torbalı GES'teki tozlanma kaybının hesaplanması için kullanılmıştır. 2015 yılında ortalama tozlanma kaybı %4,06 olarak hesaplanmıştır. EK-4'te aylık ortalama Kütle Akısı, Partikül Madde ve Tozlanma Kaybı parametrelerinin çizelgesi yer almaktadır.



Şekil 3.15: Torbalı İlçesinde Aylık Ortalama Partikül Madde Değerleri [67]



Şekil 3.16: Torbalı İlçesinde Aylık Tozlanma Kaybı Yüzdeleri

Dizi Uyuşmazlığı Kaybı

Fotovoltaik sistemde aynı eviriciye paralel bağlı dizilerde akım ve gerilimlerin arasındaki farklardan dolayı dizi uyuşmazlığı kaybı meydana gelmektedir. Kesim 2.3'te anlatılan Bucciarelli metodu ile Torbalı GES'teki kayıp hesaplanmıştır. Bunun için eviricilerden 2015 yılında elde edilmiş günlük maksimum akım, gerilim ve güç değerleri kullanılmıştır. Hesaplanan değerler EK-5'tedir. Ortalama dizi uyuşmazlığı kaybı Bucciarelli metoduyla %2,66 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.18).

Çizelge 3.2: Ortalama Aylık ve Yıllık Dizi Uyuşmazlığı Kaybı Değerleri

	DC Enerji (Wh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	36761667,3	1,29	475565,4862
Şub.15	44306542,65	1,76	781951,0994
Mar.15	59289816,32	2,12	1258092,827
Nis.15	91874961,14	3,09	2838751,294
May.15	103885743,4	3,20	3322294,633
Haz.15	104669298,2	3,36	3519072,059
Tem.15	113073090,6	3,45	3903560,775
Ağu.15	97489575,14	2,97	2893057,145
Eyl.15	74112216,49	2,39	1772313,166
Eki.15	60826015,62	1,99	1211410,944
Kas.15	42753444,65	1,45	619579,0782
Ara.15	37656419,41	1,18	446202,986
Yıllık	866698790,9	2,66	23041851,493

Isıl Kayıp

Torbalı ilçesinin yıl içerisindeki sıcaklık ortalaması Türkiye'nin sıcaklık ortalamasından fazladır. FV modüllerin verimi sıcaklık ile ters orantılı olduğu için, sıcaklık ortalaması fazla olan bölgelerde sıcaklık fotovoltaik sistemlerin verimini düşürür. Çizelge 2.2'de yer alan eşitliklerin içerisinde Rauschenbach ile Cheni'nin geliştirmiş olduğu çalışmaların kullanılmasının sebebi elde bulunan ortam sıcaklığı, referans ışıyım gibi girdi parametrelerin bu eşitliklerde kullanılabilmesidir. Çizelge 3.3'te, bu denklemler ile hesaplanan aylık ve yıllık ortalama göze sıcaklığı ve yüzdesel ısı kayıp değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.3: Ortalama Aylık ve Yıllık Sıcaklık Kaybı Değerleri

	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Ortalama Hücre Sıcaklığı (Rauschenbach)	Aylık Ortalama Hücre Sıcaklığı (Chenni)	ηtem (Rauschenbach)	ηtem (Chenni)
Ocak	7,22	35,28	39,11	5,21	6,79
Şubat	8,97	36,69	40,75	5,79	7,46
Mart	11,07	39,50	42,74	6,94	8,27
Nisan	13,89	40,83	45,40	7,49	9,36
Mayıs	21,37	48,90	52,45	10,80	12,25
Haziran	23,90	51,83	54,84	12,00	13,23
Temmuz	28,31	56,06	59,00	13,73	14,94
Ağustos	28,67	56,55	59,33	13,93	15,08
Eylül	25,19	53,24	56,05	12,58	13,73
Ekim	19,31	47,09	50,51	10,05	11,46
Kasım	14,30	41,61	45,79	7,81	9,52
Aralık	6,74	33,12	38,65	4,33	6,60
GT (W/m2)	TNOCT	Sıcaklık Katsayısı	Average %	9,22	10,72
1000	46	0,41			

Işık Eşlikli Bozulma (LID Loss)

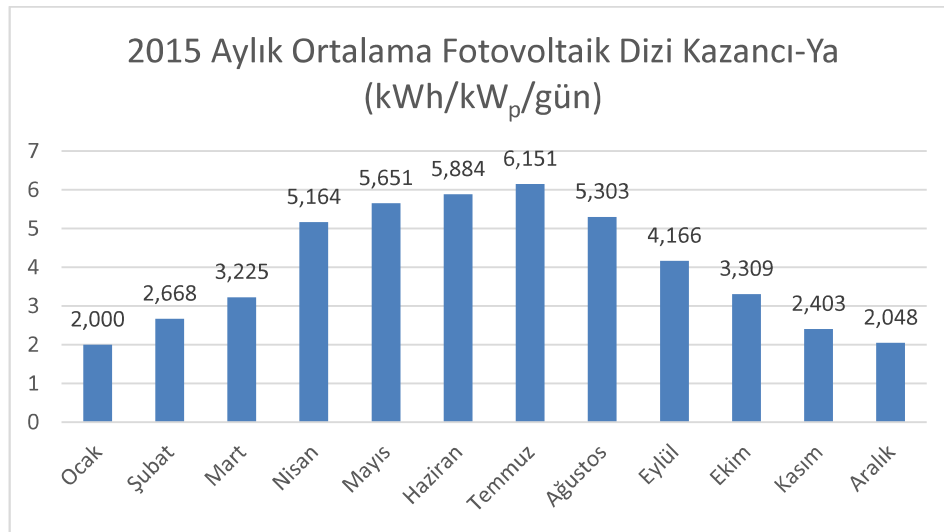
Kristal yapıda FV modüllerinin ışınlam ile ilk temasından sonra bir yıl içerisinde güçte %1 ile %3 arasında bir azalma olur. Torbalı GES'te kullanılan Solarworld marka polikristal güneş gözelerine sahip FV modül kullanılmaktadır. Photon International dergisinin 2008 yılı Mart ayında yayınlanan sayısında, Işık Eşlikli Bozulma, güneş gözelerinin üretimi sırasında boron katkılı kristal silisyum eriyik haldeyken boron atomları havadaki oksijenler ile kompleks yapı oluşturmasıyla birlikte kompleks yapı için kullanılan boron valans elektronlarının FV enerji üretimine katkı vermemesi sebebiyle yaşanan enerji kaybı olarak tanımlanmıştır [34]. FV modül fabrikalarında yapılan son flaş testlerinden sonra kaybın olduğu gözlenmektedir. Müşterinin özel talebi ile Işık Eşlikli Bozulma kaybı değerleri temin edilebilir. Bunun yanısıra, Solarworld 260 Watt modül kataloğunda LID kaybı %3 olarak verilmektedir.

3.1.4) Performans Parametreleri

Performans parametreleri IEC 61724 standardına göre hesaplanmıştır. Literatürde bulunan birçok performans analizi çalışmasında fotovoltaik sistemlerin performansı IEC 61724 standardı ile analiz edilmiştir [47]. Bu çalışmada da Torbalı GES tesisinin söz konusu standart ile dizi kazancı (Y_A), referans kazancı (Y_R), final kazancı (Y_F), performans oranı (PR), kapasite faktörü (CF), evirici verimi (η_{inv}) ve sistem verimi (η_{sys}) Kesim 2.2'de verilen formüllerle hesaplanmıştır.

Fotovoltaik Dizi Kazancı (Y_A)

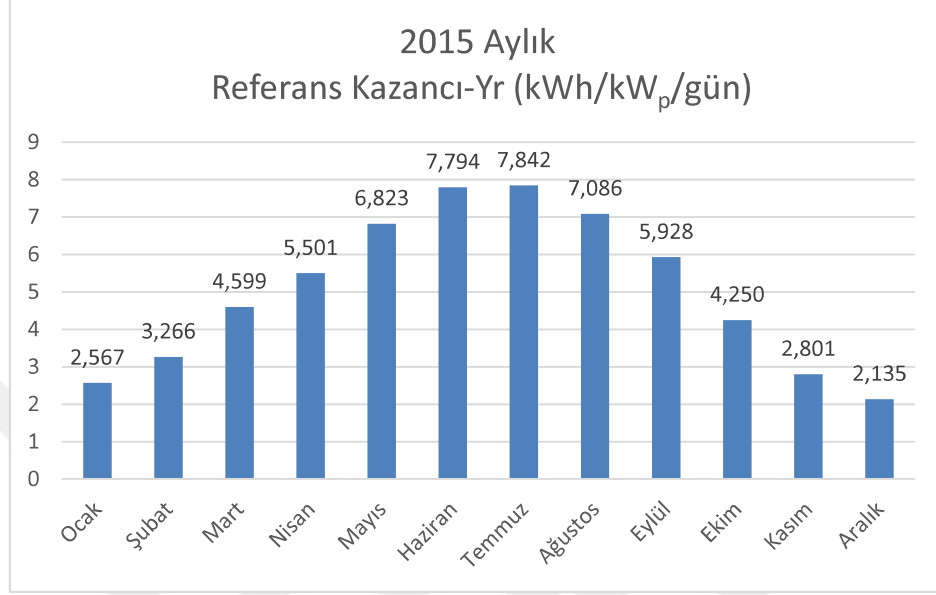
Torbalı GES tesisinde eviricilerden elde edilen aylık enerji değerlerinin santralin toplam DC nominal gücü ile gün sayısının çarpımına bölünmesi ile elde edilen aylık ortalama Fotovoltaik Ortalama Dizi Kazancı değerleri Şekil 3.17'de görülmektedir. Buna göre Torbalı GES'te 2015 yılının ortalama Fotovoltaik Dizi Kazancı 4,004 kWh/kW_p/gün'dür.



Şekil 3.17: Torbalı İlçesinde Ortalama Fotovoltaik Dizi Kazancı Değerleri

Referans Kazancı (Y_r)

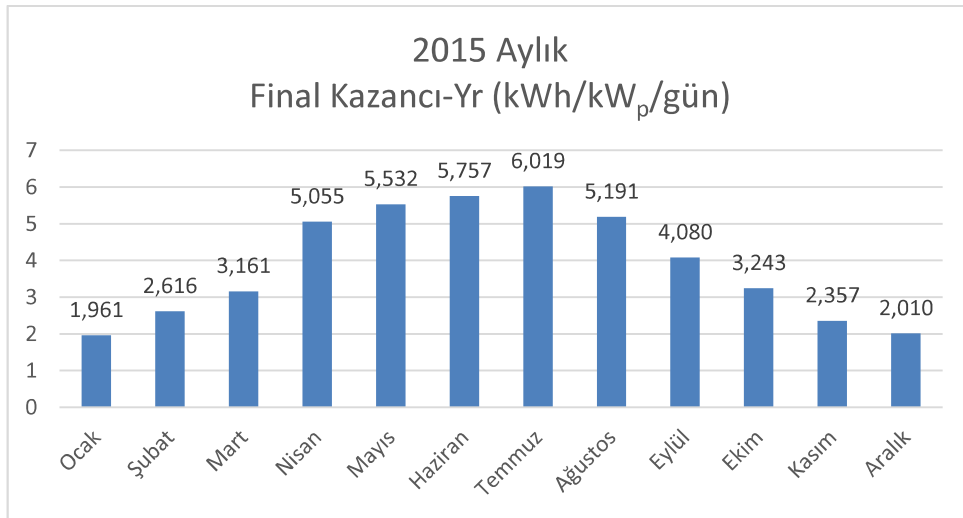
Torbalı GES tesisinde FV modül üzerine düşen ışının standart test koşullarındaki ışınım değerine bölünmesi ile elde edilen Referans Kazancı değeri aynı zamanda yıllık maksimum güneş ışığı saati değerine eşittir. Şekil 3.18’de, aylık ortalama Referans Kazancı değerleri bulunmaktadır. Yıllık ortalama Referans Kazancı değeri 5,059 kWh/kW_p/gün’dir.



Şekil 3.18: Torbalı İlçesinde Ortalama Referans Kazancı Değerleri

Final Kazancı (Y_f)

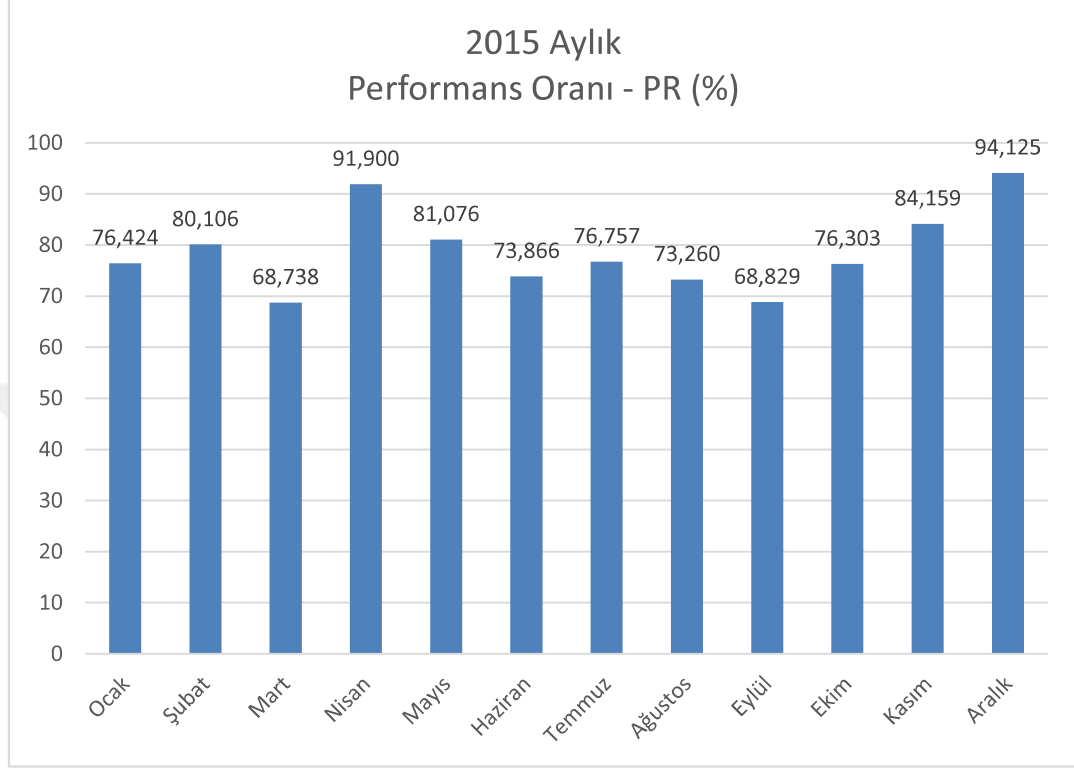
Torbalı GES tesisinde eviricilerden elde edilen AC enerji değerinin, santralin standart test koşullarında maksimum DC güç değerine bölünmesi ile elde edilen aylık Final Kazancı değerleri Şekil 3.19’da verilmektedir. Yıllık ortalama Final Kazancı değeri 3,922 kWh/kW_p/gün’dir.



Şekil 3.19: Torbalı İlçesinde Ortalama Final Kazancı Değerleri

Performans Oranı (PR)

Performans Oranı, Final Kazancı değerinin Referans Kazancı değerine bölünmesi ile elde edilir. Torbalı GES tesisinde yıllık Performans Oranı %77,52'dir. Aylık Performans Oranı değerleri Şekil 3.20'de görülmektedir.



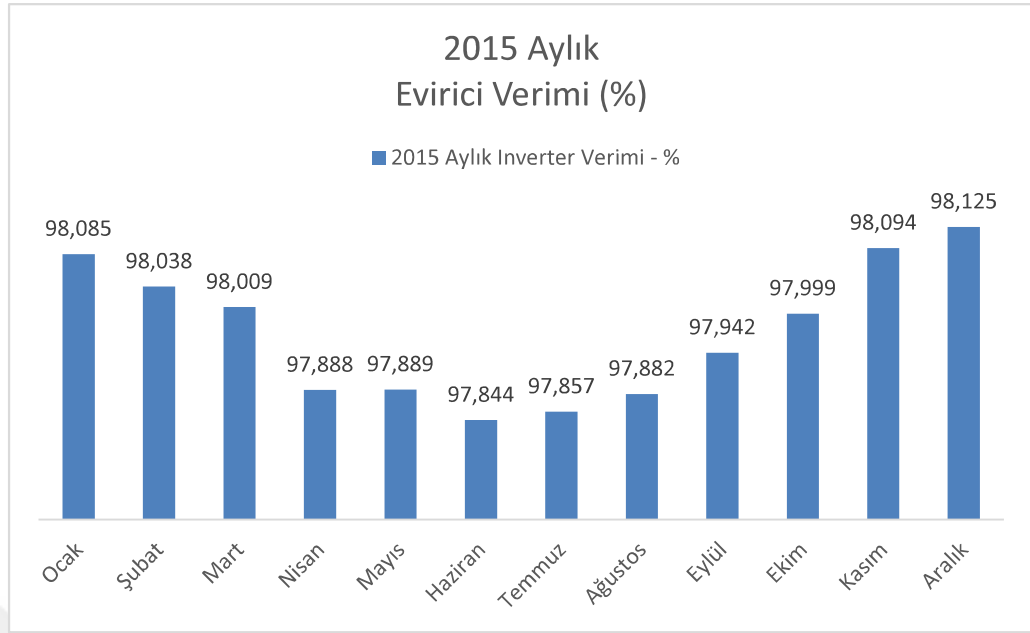
Şekil 3.20: Torbalı İlçesinde Performans Oranı Değerleri

Kapasite Faktörü (CF)

Fotovoltaik sistemlerde Kapasite Faktörü hesaplanırken bir yılda elde edilen AC enerjinin, santralin bir yılda aralıksız çalıştığı varsayılarak maksimum DC gücünün bir yıldaki saat sayısı ile çarpımına bölünerek elde edilir. Torbalı GES tesisinin Kapasite Faktörü %16,34 olarak bulunmuştur.

Evirici Verimi (η_{inv})

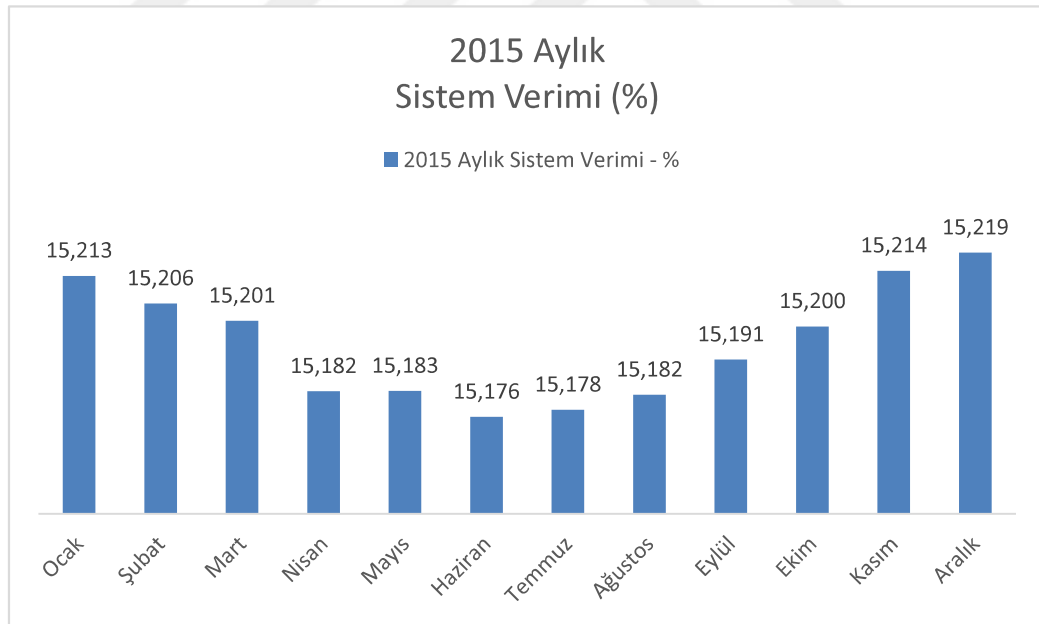
Evirici Verimi eviricilerden elde edilen AC enerjinin DC enerjiye bölünmesi ile elde edilir. Torbalı GES tesisinin yıllık ortalama Evirici Verimi %97,935'tir. Şekil 3.21'de tesise ait ortalama aylık Evirici Verimi değerleri bulunmaktadır.



Şekil 3.21: Torbalı GES'te Evirici Verimi Değerleri

Sistem Verimi (η_{sys})

Sistem Verimi, Evirici Verimi ile FV modül Veriminin çarpımı ile elde edilir. FV modül verimi STK'da %15,51'dir. Torbalı GES tesisinin 2015 yılında yıllık Sistem Verimi %15,19'dur. Şekil 3.22'de tesise ait ortalama aylık Sistem Verimi değerleri bulunmaktadır.



Şekil 3.22: Torbalı GES'te Sistem Verimi Değerleri

3.2) Gölbaşı Güneş Enerjisi Santrali Tesisi Verilerinin İncelenmesi

Altun Grup Solar Enerji tarafından 2015 yılında devreye alınıp geçici kabulü yapılan Gölbaşı GES tesisi 200 kW_e kurulu güce sahiptir. İçerisinde arazi, otopark ve çatı tipi gibi farklı fotovoltaik sistem uygulamalarını barındırmaktadır (Şekil 3.23). Arazi üzerine kurulu sistemin gücü 110 kW_e, çatı üzerine kurulan 75 kW_e ve otopark üzerine kurulan fotovoltaik sistemin gücü 15 kW_e'dir. Deniz seviyesinden 1054 metre yükseklikte bulunan tesisin konumu 39.77° Kuzey enlemi ve 32.77° Doğu boylamındadır. Otopark üzerine kurulu FV modüllerinin azimut açısı 226°, diğer bölgelerdeki FV modülleri tam güneye baktıkları için azimut açısı 180°'dir.



Şekil 3.23: Gölbaşı GES Tesisi Vaziyet Planı

Ankara İli Gölbaşı İlçesi'nde bulunan Gölbaşı Haymana Yolu'nun 5. km'sinde bulunan bir kurumun arazisi içerisine 5190 m²'lik alana Gölbaşı GES'in kurulumu yapılmıştır.

Araziye kurulan fotovoltaik sistemde toprak üzerine kaide beton dökülmüştür. Kaide beton üzerine çelik kazık montajı yapılmış, çelik kazık üzerine 30° açı oluşturacak şekilde çelik dikey profil montajı yapılmıştır. Son olarak konstrüksiyon sistemini tamamlamak için dikey profil üzerine alüminyum yatay profil montajı yapılmıştır. 440 adet FV modül ikili dikey sehpa oluşturacak şekilde konstrüksiyon sistemi üzerine monte edilmiştir (Şekil 3.24). FV modüllerin azimut açısı 180 derecedir. Fotovoltaik modüller, 7 adet 15 kW_e ve 1 adet 5 kW_e eviriciye bağlıdır.



Şekil 3.24: Gölbaşı GES Arazi Bölümü

Çatıya kurulan fotovoltaik sistemde mevcut beton üzerine alüminyum profiller ile 15° açı oluşacak şekilde modül sehpasının iskeleti kurulmuştur. Çatıdaki FV modülleri güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Çatı sistemi, Çatı 1 ve Çatı 2 olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Çatı 1’de 240 adet, Çatı 2’de ise 60 adet FV modül bulunmaktadır (Şekil 3.25, Şekil 3.26). Çatıdaki fotovoltaik sisteme 5 adet 15 kW_e evirici bağlıdır.



Şekil 3.25: Gölbaşı GES Çatı 1 Bölümü



Şekil 3.26: Gölbaşı GES Çatı 2 Bölümü

Otoparka kurulan fotovoltaik sistemin uygulama aşamasında öncelikle toprak üzerine kaide beton dökülmüştür. Beton üzerine 3-4 metre arası çelik kazıklar montaj edildikten sonra dikey ve yatay çelik profiller sehpaye 15° açı kazandıracak şekilde bu kazıkların üzerine monte edilmiştir. Otoparktaki fotovoltaik sistemde 60 adet FV modül ve 1 adet 15 kW_e evirici bulunmaktadır (Şekil 3.27). FV modüllerin azimut açısı 42° 'dir.

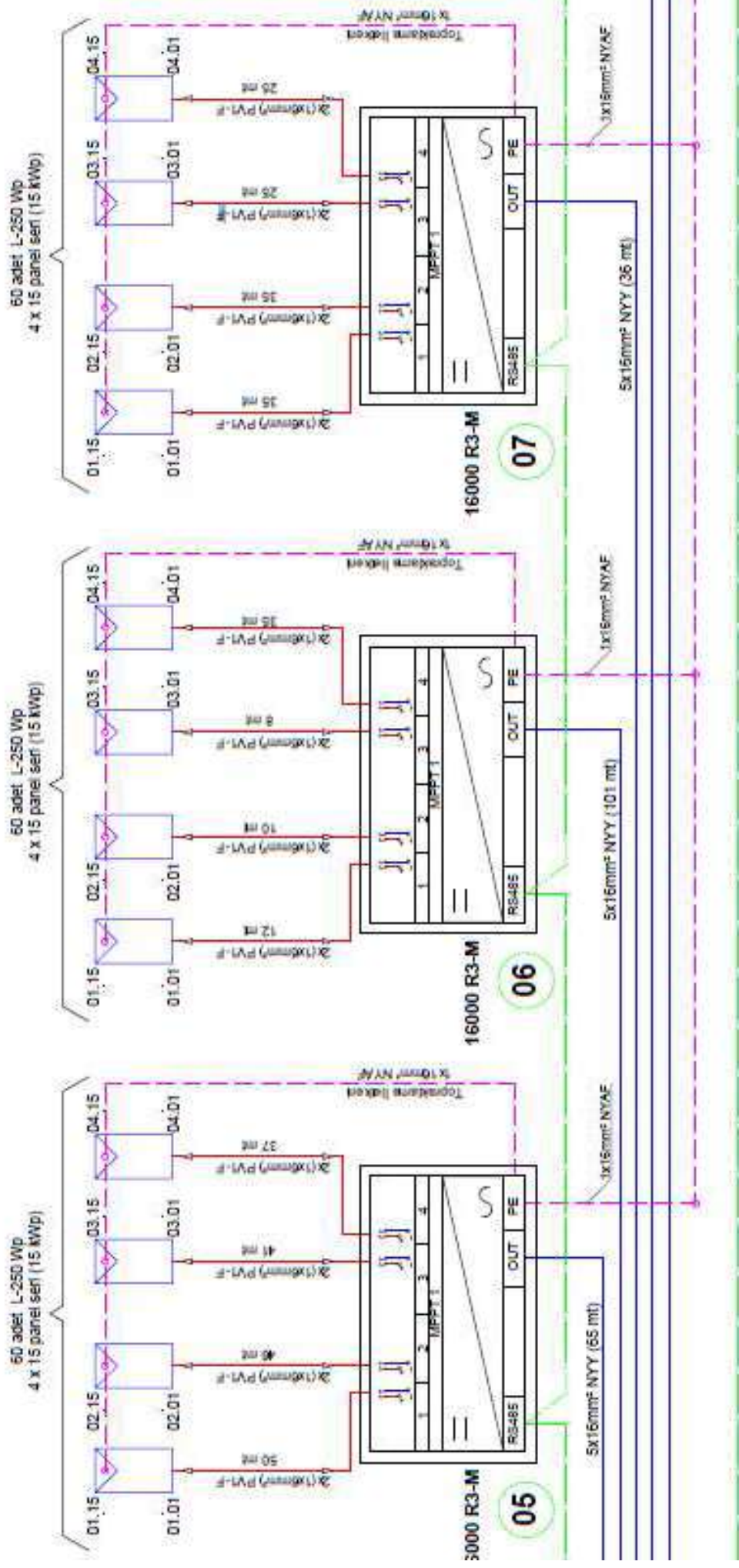


Şekil 3.27: Gölbaşı GES Otopark Bölümü

Sistemde 800 adet 250 Wp Solar Fabric polikristal teknolojisinde FV modülün yanı sıra, 13 adet 15 kW_e ve 1 adet 5 kW_e evirici mevcuttur. 15 kW_e çıkış gücüne sahip evircilere 4 adet 15 modülden, 5 kW_e çıkış gücüne sahip eviriciye ise 1 adet seri bağlı 20 modülden

oluşan dizi bağlıdır. Şekil 3.28’de projenin tek hat şeması yer almakta ve şemada FV modüllerden eviriciye kadar olan ekipmanların çizimi bulunmaktadır. Eviriciler toplamda 2 adet AC toplama panosuna bağlıdır. AC toplama panoları vasıtasıyla toplanan enerji ana dağıtım panosuna gelir. Enerji, ana dağıtım panosundan binanın Alçak Gerilim şalt odasında tesisin bağlantı noktasına iletilir. Yatırımcı ve TEDAŞ arasındaki mahsuplaşma şalt odasındaki çift yönlü sayaçlar ile yapılır.

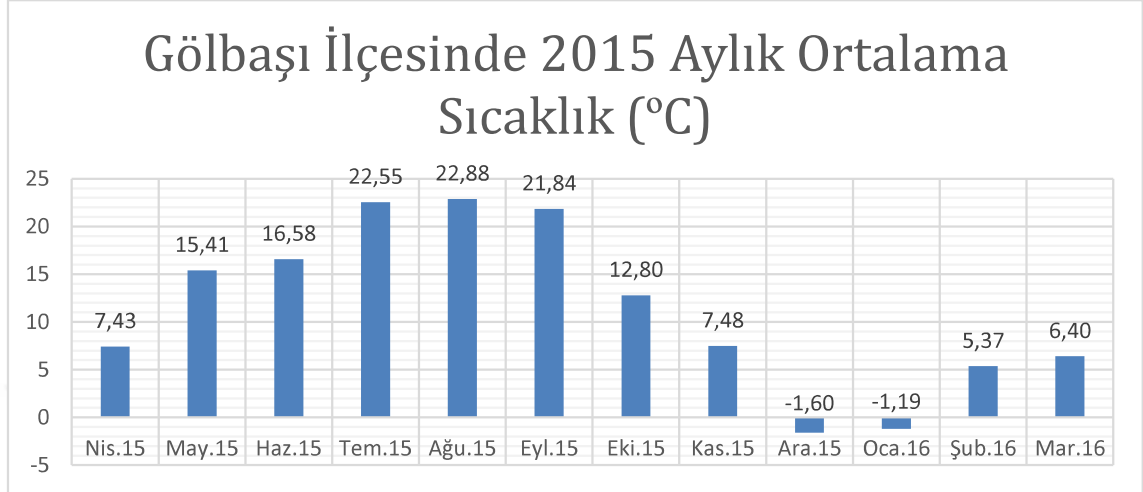




Şekil 3.28: Gölbaşı GES FV modüllerinden AC Toplama Panolarına Kadar Tekhat Şeması

Ortam Sıcaklığı (°C)

Aylık ortalama sıcaklık değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Gölbaşı ilçesindeki ölçüm istasyonundan alınan 2015 yılına ait günlük ortalama sıcaklık değerleri Şekil 3.29'da verilmiştir.



Şekil 3.29: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Gölbaşı İlçesi istasyonundan alınan Nisan 2015 ile Mart 2016 arası aylık ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 3.29 incelendiğinde, yaz aylarındaki sıcaklığın etkisi ile birlikte FV modül performansını olumsuz etkilediği söylenebilir.

Enerji Üretimi (kWh)

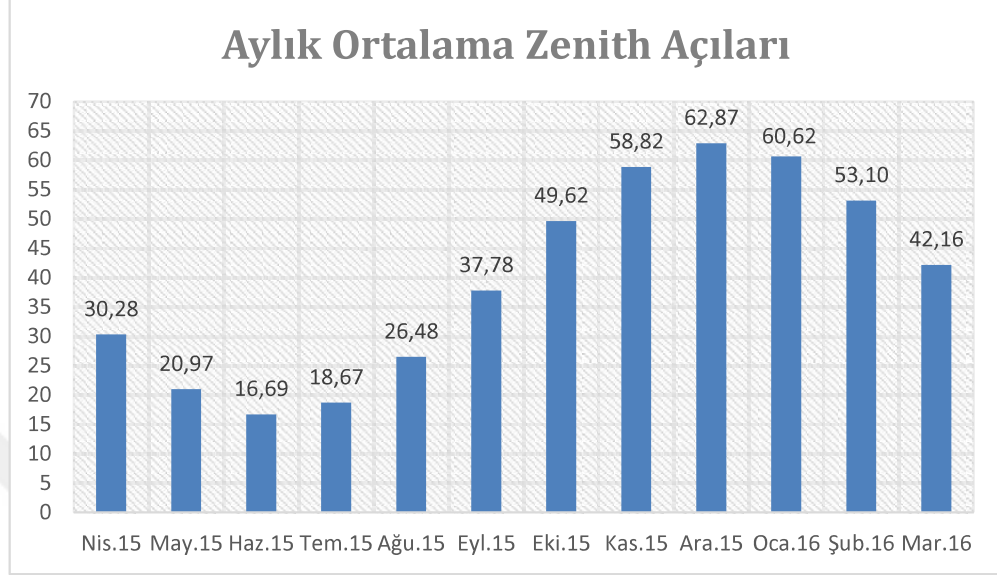
Santralin elektriksel değerleri her bir eviriciden ayrı olarak elde edilmiştir. Çizelge 3.4'te görüldüğü üzere, aylık en yüksek AC enerji üretim değeri 35,266 MWh ile Temmuz ayına, en düşük aylık AC enerji üretim değeri ise 11,324 MWh ile Aralık ayına aittir. Sistemde 2015 yılında 284,86 MWh elektrik üretilmiştir.

Çizelge 3.4: Günlük ortalama, aylık ve yıllık toplam enerji üretimi değerleri

Ay	Günlük Ortalama Enerji Üretimi (AC MWh)	Aylık Toplam Enerji Üretimi (AC MWh)	Yıllık Toplam Enerji Üretimi (AC MWh)
Nis.15	2,998	29,957	
May.15	3,28	30,753	
Haz.15	3,414	26,463	
Tem.15	3,569	35,266	
Ağu.15	3,078	32,105	
Eyl.15	2,42	27,353	
Eki.15	1,923	20,929	284,863
Kas.15	1,398	16,63	
Ara.15	1,192	11,324	
Oca.16	1,163	11,784	
Şub.16	1,551	17,734	
Mar.16	1,874	24,564	

3.2.1) Güneş Açıları

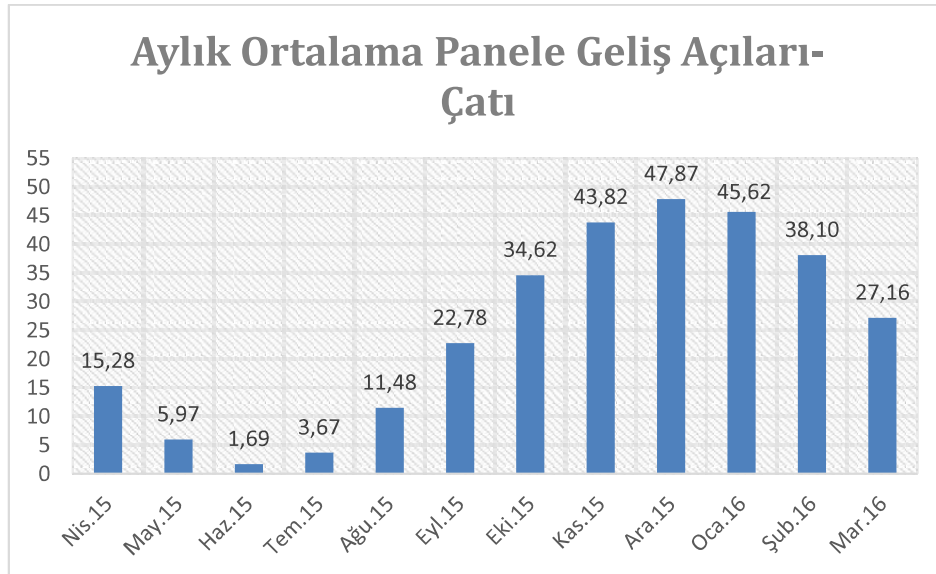
Şekil 3.30’da aylara göre ortalama Zenit açıları görülmektedir. Haziran Ayı’nda zenit açısı en düşük olarak gözlenirken, Aralık Ayı’nda en yüksek değerini alır.



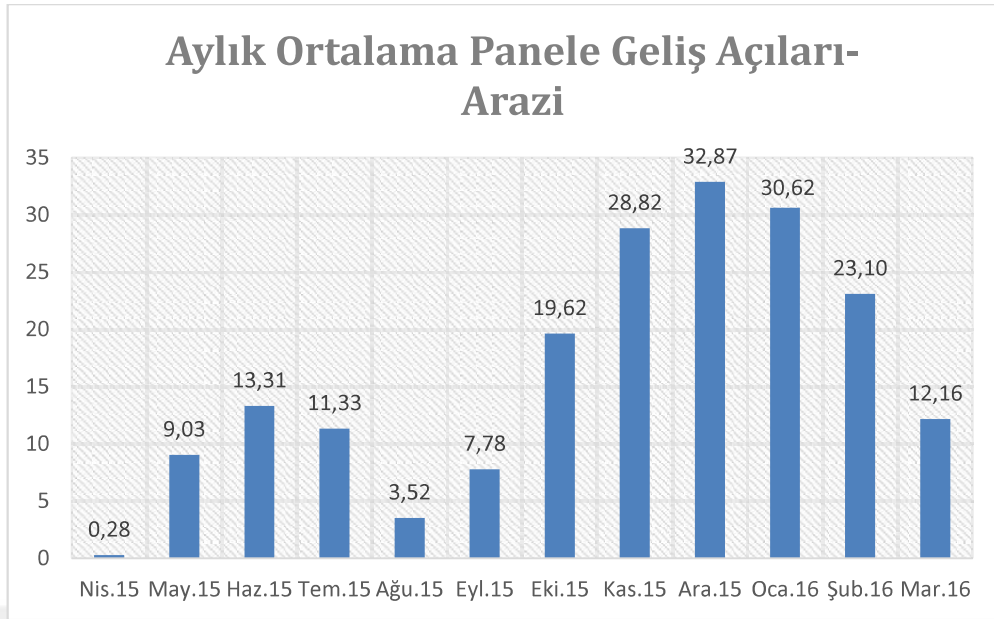
Şekil 3.30: Gölbaşı GES sahasında Aylık Ortalama Zenit Açıları

Gölbaşı GES tesisi bulunduğu konum itibariyle çatı ve arazi bölümleri için fotovoltaik modüllerinin azimut açısı ($\theta_{AZ,array}$) 0° , $\theta_{AZ,avg}$ ise 0° ’dir. Otopark bölümü için $\theta_{AZ,array}$ -42° , $\theta_{AZ,avg}$ ise 0° ’dir.

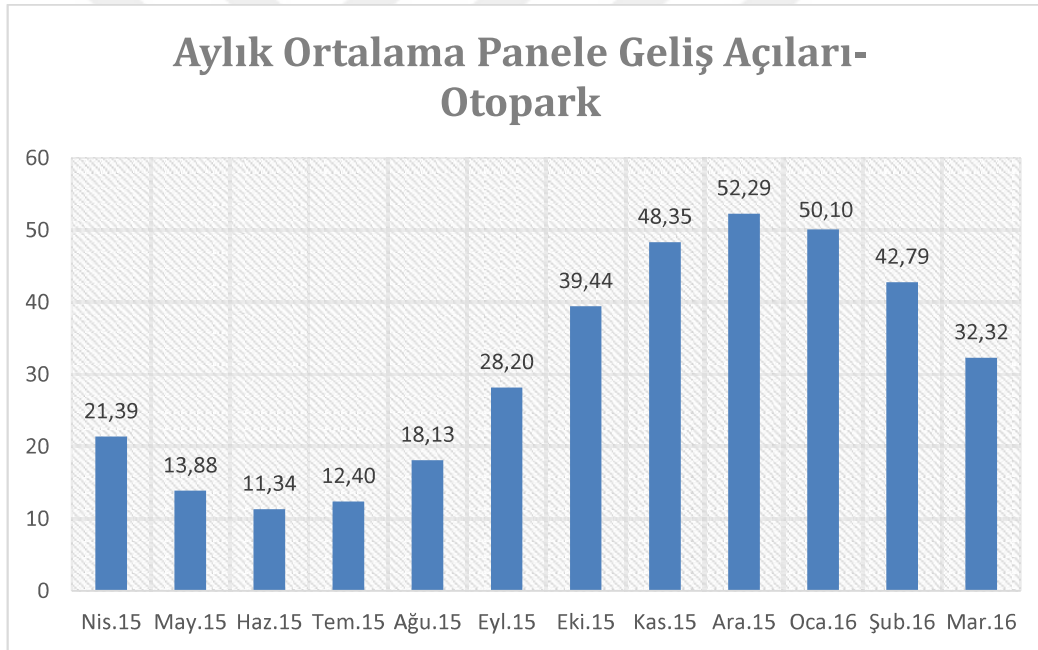
Şekil 3.31, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33’te aylara göre ortalama aylık FV modüle Geliş Açıları görülmekte olup, 2015 yılındaki en yüksek ortalama değer Aralık ayında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.31: Gölbaşı GES Tesisi Çatı Bölümü Aylık Ortalama FV modüle Geçiş Açıları



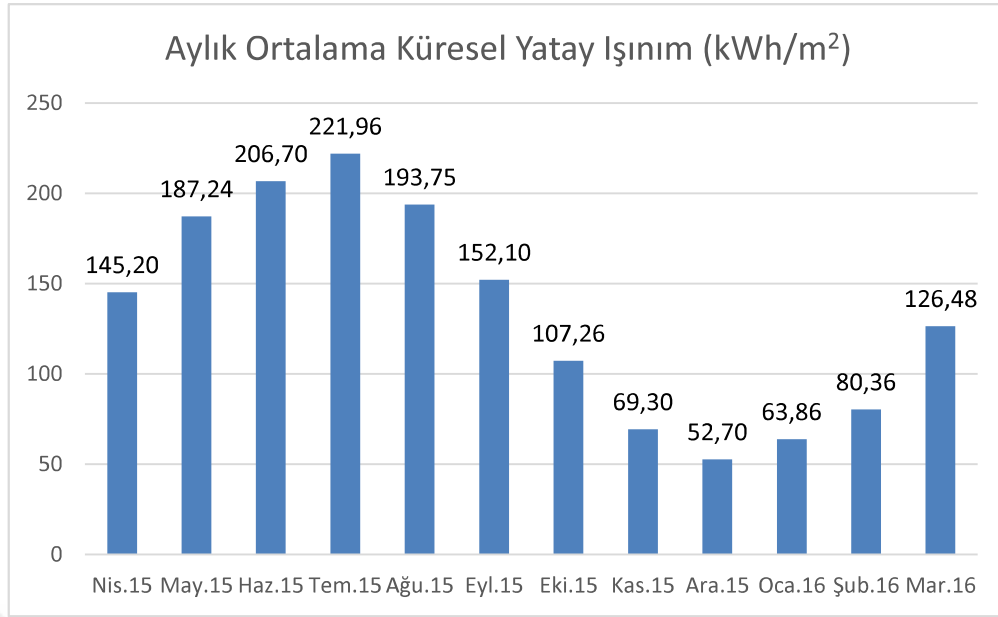
Şekil 3.32: Gölbaşı GES Tesisi Arazi Bölümü Aylık Ortalama FV modüle Geçiş Açılı



Şekil 3.33: Gölbaşı GES Tesisi Otopark Bölümü Aylık Ortalama FV modüle Geçiş Açılı

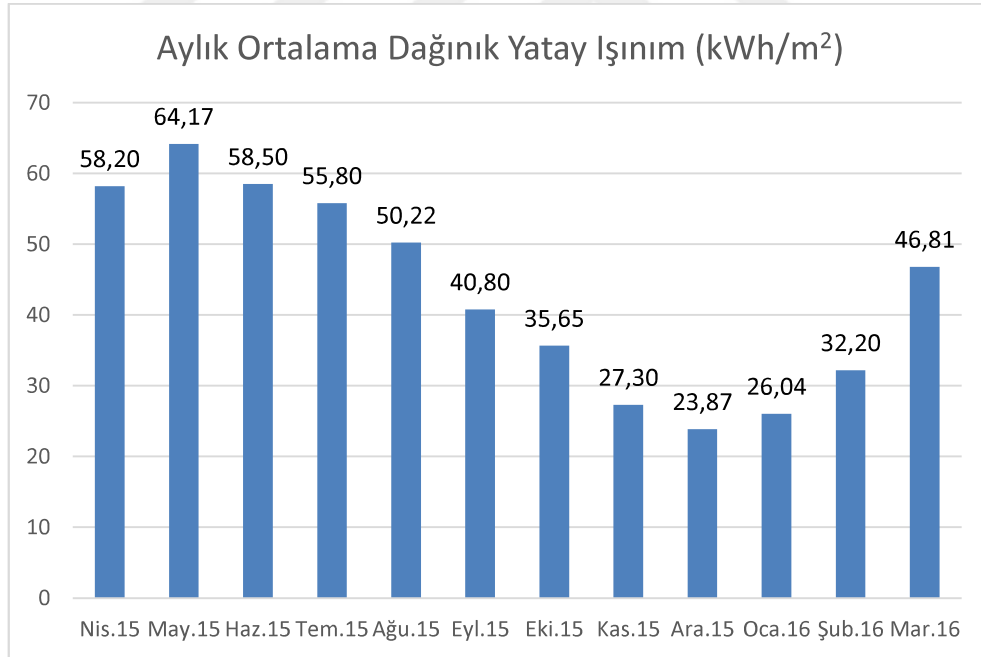
3.2.2) Işınım Değerleri

Gölbaşı'nın küresel yatay ışıınım değerleri NASA SSE veritabanından elde edilmiştir [65]. Nisan, 2015 ile Mart, 2016 ayları arasında toplam küresel yatay ışıınım değeri 1606,91 kWh/m² olup en yüksek GHI değeri Temmuz ayında elde edilmiştir.



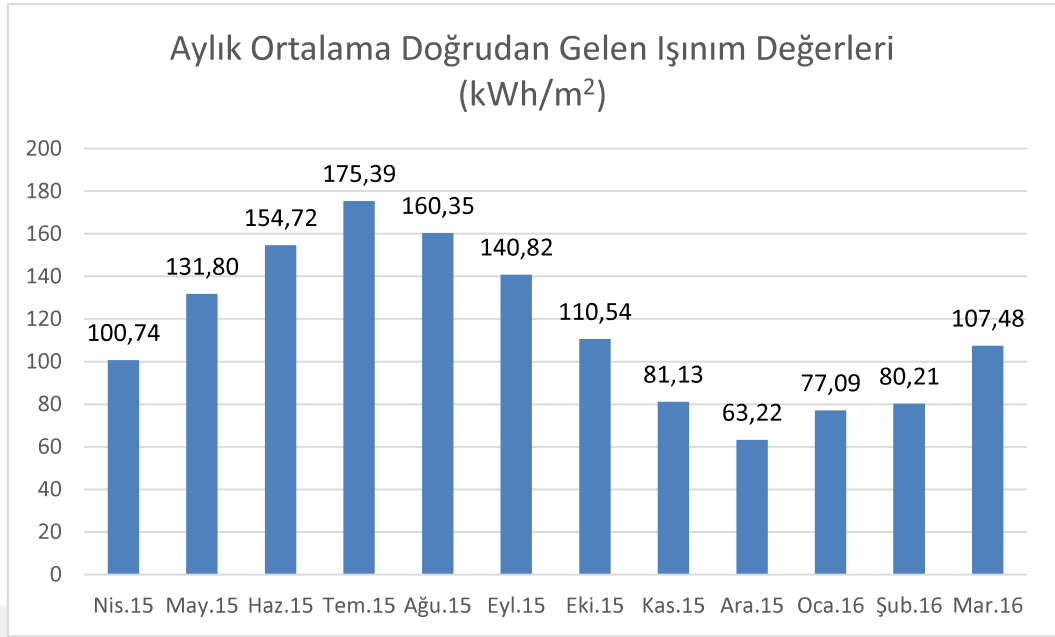
Şekil 3.34: 2015 yılına ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama küresel yatay ışınlm değerleri [66]

Gölbaşı GES tesisi'nde; Nisan, 2015 ile Mart, 2016 ayları arasında bir yılda FV modül yüzeyi üzerine düşen toplam Dağınlık Yatay Işınım değeri 519,56 kWh/m²'dir.



Şekil 3.35: Gölbaşı GES tesisine ait NASA-SSE veritabanından alınan aylık ortalama dağınlık yatay ışınlm değerleri [66].

Gölbaşı GES tesisi konumunda Doğrudan Gelen Işınım ışınlm değerleri Eşitlik 2.7'deki formül ile hesaplanarak elde edilmiştir. Sistemdeki veriler tez çalışması için ortalama aylık değerler olarak alınablmıştır (Şekil 3.36). 2015 yılında toplam Doğrudan Gelen Işınım değeri 1383,47 kWh/m²'dir.



Şekil 3.36: Gölbaşı GES tesisi konumuna ait Doğrudan Gelen Işınım Değerleri

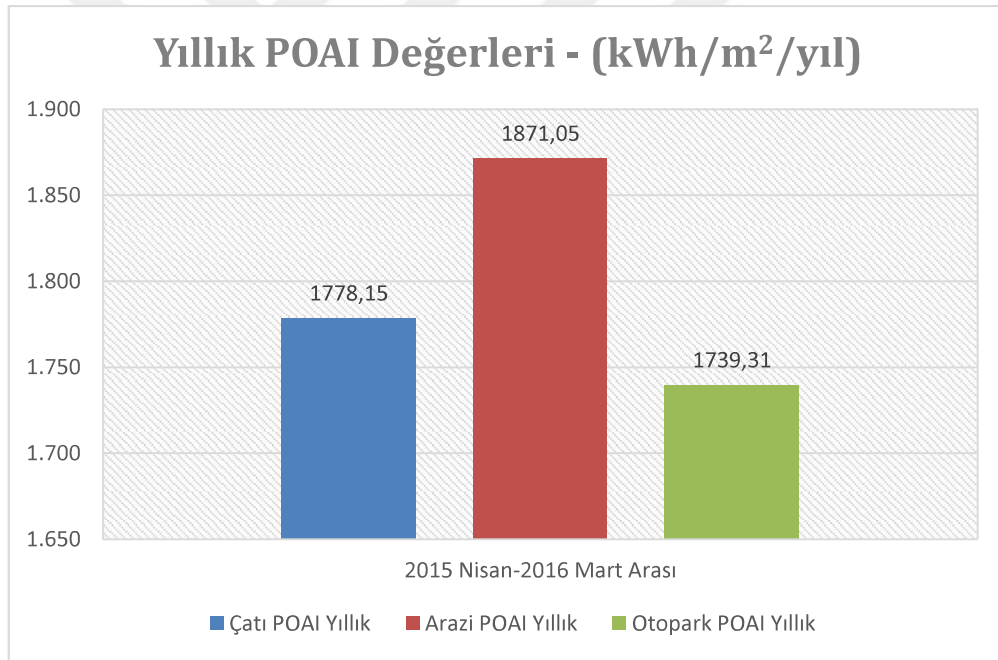
Gölbaşı GES’nde 2015 yılında FV modüle düşen ışınmı hesaplamak için NASA-SSE veritabanından elde edilen GHI, DHI ve DNI değerleri kullanılmıştır. Bu değerler ile modül düzlemine yerden yansıyarak ($POAI_{u,ground}$), atmosfer partiküllerinden saçılarak ($POAI_{u,sky}$) ve dik ($POAI_d$) olarak gelen ışınmı değerleri Kesim 2.1’de yer alan formüller ile hesaplanmıştır.

Sistem ile ilgili ışınmı değerleri Kesim 2.1.2’de yer alan formüller ile hesaplanmıştır (Çizelge 3.5 ve Şekil 3.37). $POAI$ ve bileşenleri çizelgesine EK-6’da yer verilmiştir.

Çizelge 3.5: Gölbaşı GES Tesisi Çatı, Arazi ve Otopark Bölgelerine Ait Aylık $POAI$ Değerleri

Gölbaşı GES Tesisi	Çatı				Arazi			
	$POAI_t$	$POAI_{u,ground}$	$POAI_{u,sky}$	$POAI_d$	$POAI_t$	$POAI_{u,ground}$	$POAI_{u,sky}$	$POAI_d$
Nis.15	5,2	0,02	1,93	3,24	5,34	0,06	1,91	3,36
May.15	6,32	0,03	2,06	4,23	6,3	0,08	2,02	4,2
Haz.15	7,13	0,04	1,94	5,16	7	0,09	1,89	5,02
Tem.15	7,47	0,04	1,79	5,65	7,41	0,1	1,77	5,55
Ağu.15	6,72	0,03	1,62	5,07	6,87	0,08	1,63	5,16
Eyl.15	5,73	0,03	1,37	4,33	6,13	0,07	1,41	4,65
Eki.15	4,12	0,02	1,16	2,93	4,61	0,05	1,2	3,36
Kas.15	2,88	0,01	0,92	1,95	3,35	0,03	0,95	2,37
Ara.15	2,15	0,01	0,78	1,37	2,54	0,02	0,8	1,71
Oca.16	2,6	0,01	0,85	1,74	3,05	0,03	0,88	2,14
Şub.16	3,43	0,01	1,16	2,25	3,86	0,04	1,19	2,63
Mar.16	4,62	0,02	1,52	3,08	4,98	0,05	1,54	3,39

Gölbaşı GES Tesisi	Otopark			
	POAI _t	POAI-u,ground	POAI-u,sky	POAI-d
Nis.15	5,12	0,06	1,93	3,13
May.15	6,26	0,08	2,06	4,13
Haz.15	7,08	0,09	1,94	5,06
Tem.15	7,41	0,09	1,79	5,53
Ağu.15	6,62	0,08	1,62	4,92
Eyl.15	5,57	0,06	1,37	4,14
Eki.15	3,96	0,04	1,16	2,75
Kas.15	2,75	0,03	0,92	1,8
Ara.15	2,05	0,02	0,78	1,25
Oca.16	2,47	0,03	0,85	1,6
Şub.16	3,3	0,04	1,16	2,1
Mar.16	4,5	0,05	1,52	2,93



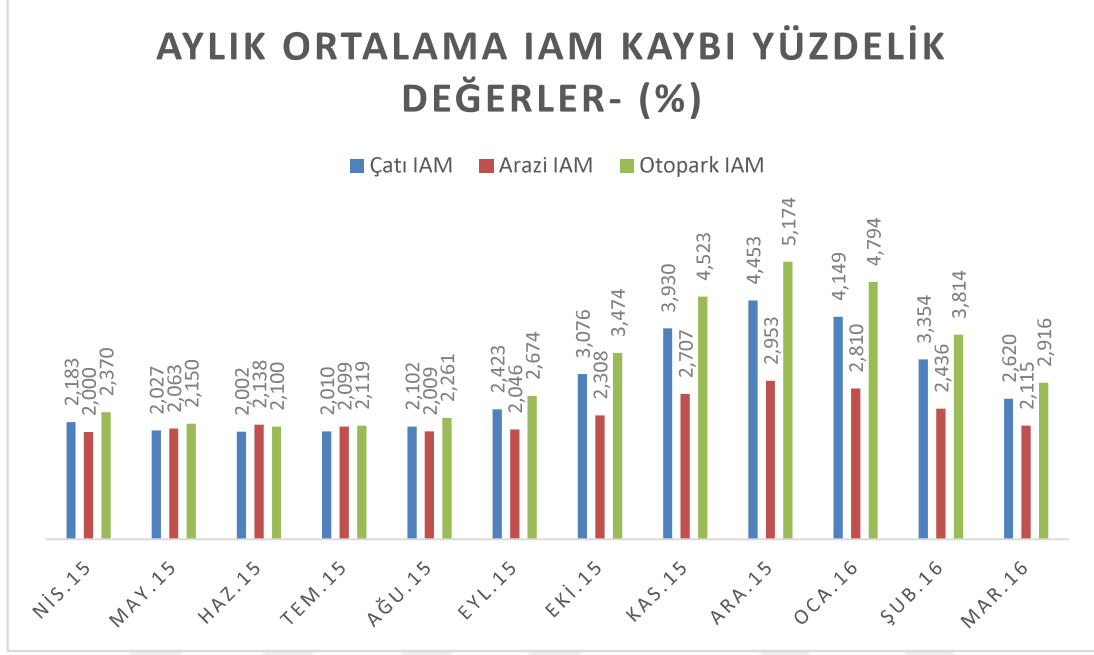
Şekil 3.37: Gölbaşı GES Tesisi Çatı, Arazi ve Otopark Bölgelerine Ait Yıllık POAI Değerleri

Yıllık ışıınım değerlerini incelediğimizde arazi bölümünde bulunan fotovoltaik sistemdeki modüllerin açısının optimum açıya yakın olması ve modüllerin tam olarak güneye bakması sebebiyle arazi bölümündeki ışıınım değeri diğer bölgelerdeki ışıınım değerlerine göre daha fazladır. Otopark bölgesindeki ışıınımın en az olmasının nedeni ise azimut açısının 136° olması sebebiyle modüller güneye tam olarak bakmamasıdır. Bu da modüllere düşen ışıınımın azalmasına neden olur.

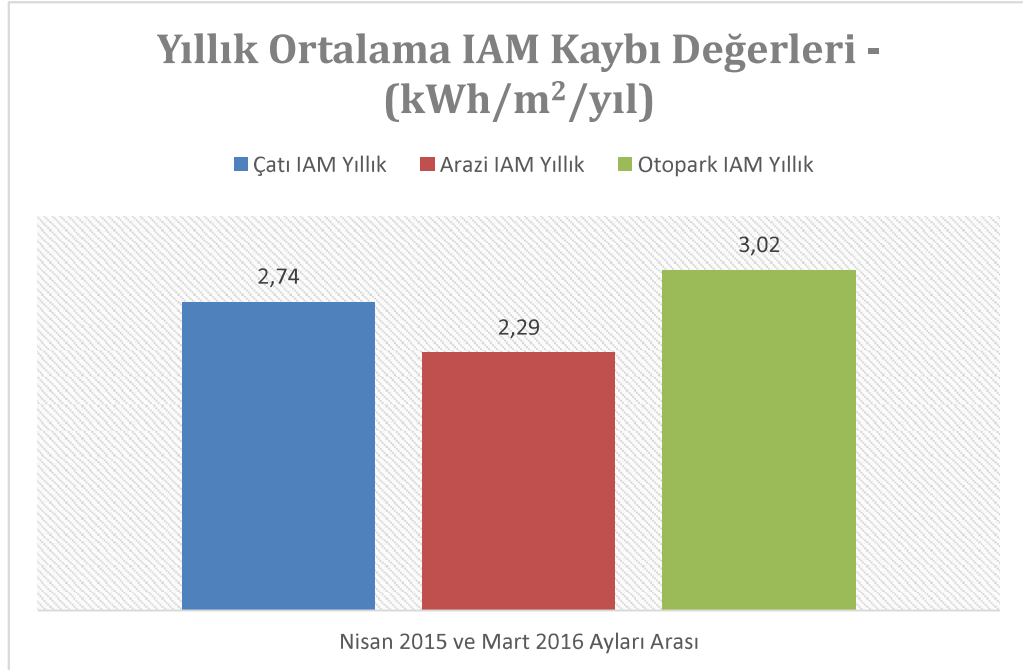
3.1.3) Kayıp Parametreleri

Yansima Kaybı

Torbalı GES'te izlenen yönetime paralel olarak, Nisan 2015 ve Mart 2016 ayları arasında aylık ortalama yansima kayıpları Şekil 3.38'de, yıllık ortalama yansima kayıpları ise Şekil 3.39'da verilmiş olup, IAM kayıp parametreleri çizelgesi EK-7'dedir.



Şekil 3.38: Gölbaşı GES tesisinde Aylık Ortalama IAM Kayıpları



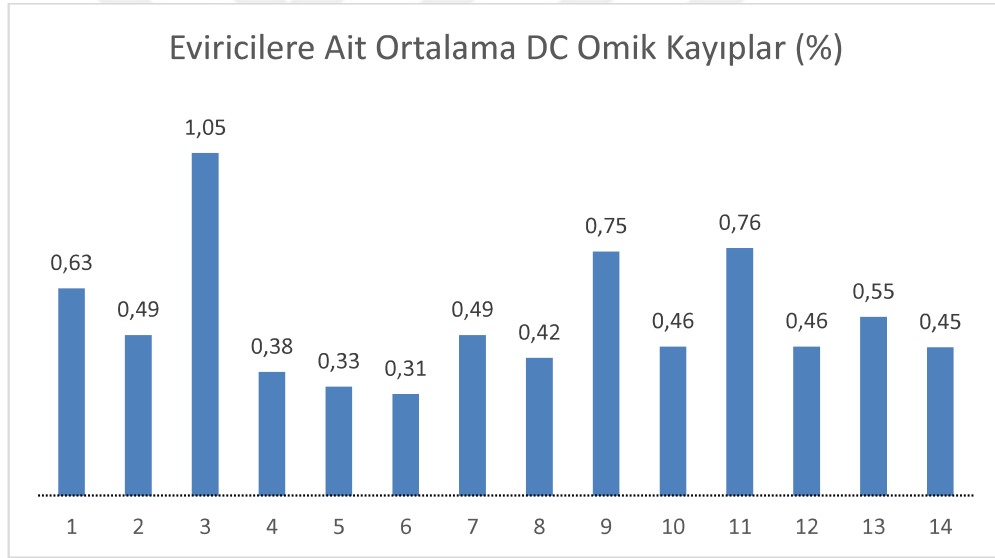
Şekil 3.39: Gölbaşı GES tesisinde Yıllık IAM Kayıpları

DC Omik Kayıp

Gölbaşı GES tesisinde fotovoltaik sistem arazi içerisinde bölümler halinde olduğu için kullanılan DC kablo uzunluğu fazla değildir. Evirici ve en uzak modül arasında 100 metrenin üzerinde bir mesafe bulunmamaktadır. En uzun kablo uzunluğu tesisin çatı bölümünde bulunmaktadır. DC kabloların gerilim düşümün TEDAŞ'ın belirlemiş olduğu %2'lik seviyenin altında olmaması önemlidir. Gerilim düşümünü %2'lik değerde tutmak için standart kablo kesitlerini arttırmak gerekebilir.

Gölbaşı GES santralinde yüklenici firma tasarım aşamasında kablo kesitini maksimum kablo uzunluğu 100 metrenin altında olduğu için 6 mm² olarak belirlemiştir. Tesisteki toplam kablo uzunluğu 4643 metre olup, bir diziye ait maksimum kablo uzunluğu 94 metredir. Güç kaybı hesabı dizide oluşabilecek maksimum akıma göre yapılmıştır. Bir FV modülün STK'da kısa devre akımı modül kataloğunda yer almaktadır.

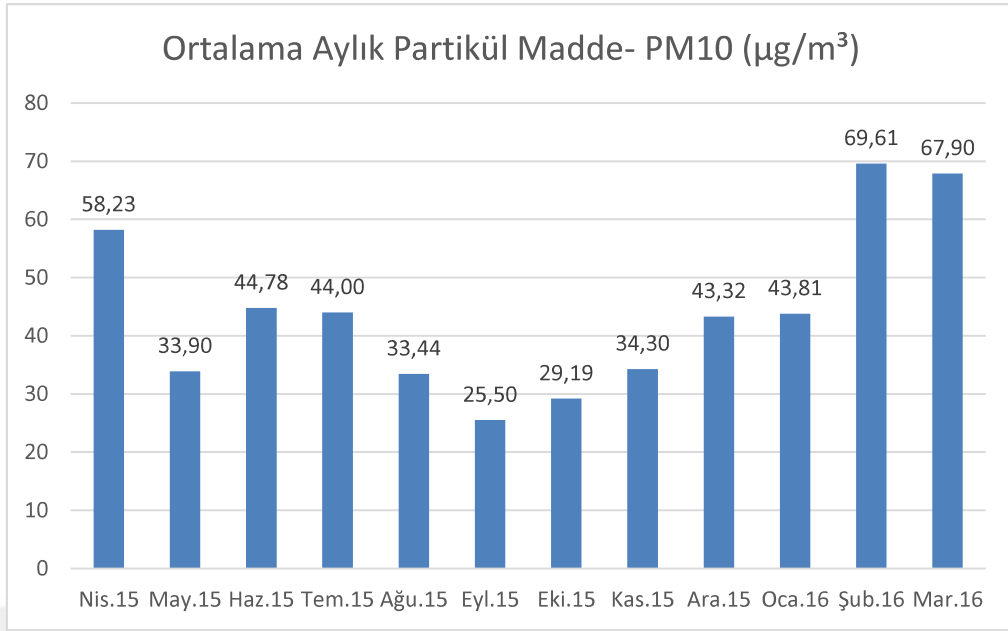
Kesim 2.3'te yer alan DC omik kayıp denklemine göre Gölbaşı'ndaki fotovoltaik sistemde tüm dizilerin ortalama kayıp değeri %0,54'tür. Evirici dizilerinin ortalama DC Omik Kayıpları Şekil 3.40'ta verilmiştir. Her bir dizi için kayıp değeri EK-8'dedir.



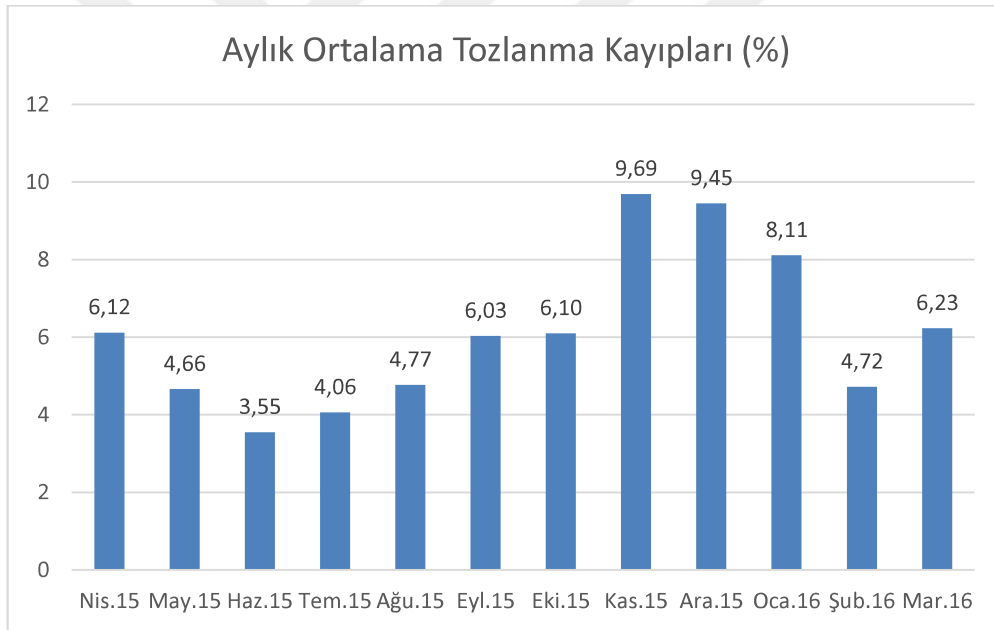
Şekil 3.40: Gölbaşı GES tesisinde her eviricide ortalama DC Omik Kayıp

Tozlanma Kaybı

Gölbaşı GES tesisindeki tozlanma kaybı Torbalı GES'te izlenen yöntem ile hesaplanmıştır. Bunun için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın veritabanından 2015 yılının Nisan ayından 2016 yılının Mart ayına kadar olan yılındaki tüm günlerin Partikül Madde (PM10) değerleri alınmıştır (Şekil 3.41). Gölbaşı'nda toz kütle akısı 1,5 g/m²/gün'den az olduğu için Kolorado Üniversite'sinde yapılan çalışma, Gölbaşı GES'teki aylık tozlanma kaybı değerlerinin hesaplanması için kullanılmıştır (Şekil 3.42). Yıllık tozlanma kaybı değeri %6,12 olarak hesaplanmıştır. EK-4'te aylık ortalama Kütle Akısı, Partikül Madde ve Tozlanma Kaybı parametrelerinin çizelgesi yer almaktadır.



Şekil 3.41: Gölbaşı İlçesinde Aylık Ortalama Partikül Madde [67]



Şekil 3.42: Gölbaşı İlçesinde Aylık Tozlanma Kaybı Yüzdeleri

Dizi Uyuşmazlığı Kaybı

Kesim 2.3'te anlatılan Bucciarelli metodu ile Gölbaşı GES'teki kayıp hesaplanmıştır. Bunun için eviricilerden 2015 yılında elde edilmiş günlük maksimum akım, gerilim ve güç değerleri kullanılmıştır. Hesaplanan değerler Ek 9'dadır. Ortalama dizi uyuşmazlığı kaybı Bucciarelli metoduyla %2,57 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6: Ortalama Aylık ve Yıllık Dizi Uyuşmazlığı Kaybı Değerleri

	GÖLBAŞI GES Toplam		
	DC Enerji (Wh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	12018765	1,563	187838,2077
Şub.16	18081828	2,144	387631,1329
Mar.16	25045181	2,568	643073,35
Nis.15	30532345	2,915	889880,5179
May.15	31344682	2,989	937014,0349
Haz.15	26973625	2,592	699043,1264
Tem.15	35957983	3,118	1121193,487
Ağu.15	32727955	2,928	958145,5632
Eyl.15	27882323	2,588	721633,5555
Eki.15	21322130	2,154	459197,4035
Kas.15	16950859	1,801	305358,3535
Ara.15	11541865	1,344	155119,0072
Yıllık	290379541,000	2,571	7465127,740

Isıl Kayıp

Gölbaşı ilçesinin yıl içerisindeki sıcaklık ortalaması Torbalı ilçesine göre daha düşüktür. FV modüllerinin verimi sıcaklık ile ters orantılı olduğu için, Gölbaşı GES tesisindeki modüllerin verimi Torbalı GES tesisinde bulunan FV modüllerinin veriminden daha fazla olacaktır. Çizelge 2.2’de bulunan Rauschenbach ile Chenni’nin geliştirdiği eşitlikler ile güneş gözelerinin sıcaklıkları ve yüzdesel ısı kayıp oranları hesaplanmıştır. Eşitliklerin seçilmesinin nedeni Kesim 3.1.3’te anlatılmıştır. Çizelge 3.6’da hesaplanan değerler ve aylık ortalama ortam sıcaklığı değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.7: Ortalama Aylık ve Yıllık Sıcaklık Kaybı Değerleri

Gölbaşı GES Tesisi	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Ortalama Göze Sıcaklığı (°C - Rauschenbach) [57]	Aylık Ortalama Göze Sıcaklığı (°C - Chenni) [57]	$\eta_{thermal}$ (Rauschenbach)	$\eta_{thermal}$ (Chenni)
Nis.15	7,43	34,33	39,30	5,01	7,15
May.15	15,41	42,32	46,84	8,45	10,39
Haz.15	16,58	43,48	47,93	8,95	10,86
Tem.15	22,55	49,45	53,56	11,51	13,28
Ağu.15	22,88	49,78	53,87	11,66	13,42
Eyl.15	21,84	48,75	52,90	11,21	13,00
Eki.15	12,80	39,70	44,37	7,32	9,33
Kas.15	7,48	34,38	39,36	5,04	7,17
Ara.15	-1,60	25,30	30,79	1,13	3,49
Oca.16	-1,19	25,71	31,18	1,31	3,66
Şub.16	5,37	32,27	37,36	4,13	6,32
Mar.16	6,40	33,30	38,34	4,57	6,73
GT (W/m2)	TNOCT	Sıcaklık Katsayısı	Ortalama %	6,69	8,73
1000	45	0,43			

Işık Eşlikli Bozulma (LID Loss)

Gölbaşı GES'te kullanılan Solarfabrik marka modülde polikristal yapıda silisyum yarıiletken mevcuttur. Işık Eşlikli Bozulma FV modülün güneş ışınlarına maruz kaldığı andan itibaren bir yıl içerisinde gösterir. Solarworld 260 Watt polikristal FV modül kataloğunda LID kaybının %3 olduğu görülmektedir. Bu değer çalışmada kullanılmıştır.

3.2.4) Performans Parametreleri

Performans parametreleri IEC 61724 standardına göre hesaplanmıştır. Literatürde bulunan birçok performans analizi çalışmasında fotovoltaiik sistemlerin performansı IEC 61724 standardı ile analiz edilmiştir [42]. Bu bölümde Gölbaşı GES tesisinin söz konusu standart ile dizi kazancı (Y_A), referans kazancı (Y_R), final kazancı (Y_F), performans oranı (PR), kapasite faktörü (CF), evirici verimi (η_{inv}) ve sistem verimi (η_{sys}) hesaplanmıştır (Çizelge 3.7). Parametrelerin hesaplanması için kullanılan IEC 61724 standardındaki formüllere 2.2.1 bölümünde yer verilmiştir.

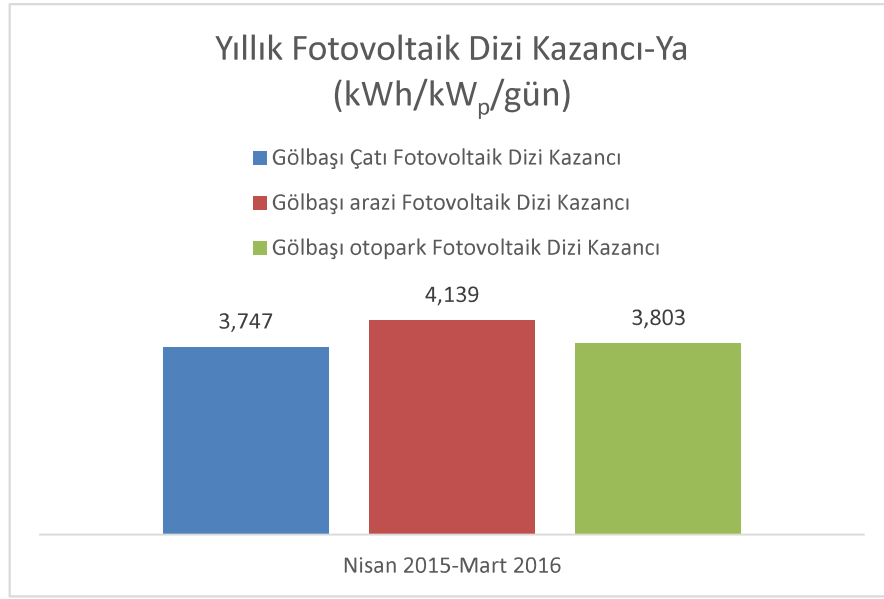
Çizelge 3.8: Gölbaşı GES tesisinde Aylık Ortalama Performans Değerleri (a-Çatı, b-Otopark, c-Arazi)

a) Gölbaşı GES Tesisi- Çatı	Fotovoltaiik Dizi Kazancı Ya (kWh/ kW _p /d)	Referans Kazancı Yr (h/gün)	Final Kazancı Yf (kWh/kW _p /gün)	Performans Oranı PR (%)	Kapasite Faktörü CF (%)	Inverter Verimi (%)	Sistem Verimi (%)
Nis.15	4,814	5,198	4,716	90,729	-	97,971	14,189
May.15	4,852	6,316	4,754	75,273	-	97,973	14,222
Haz.15	4,346	7,126	4,257	59,744	-	97,965	13,925
Tem.15	5,659	7,475	5,541	74,133	-	97,922	14,120
Ağu.15	5,059	6,723	4,956	73,716	-	97,955	13,614
Eyl.15	4,350	5,726	4,263	74,440	-	97,981	13,885
Eki.15	3,210	4,115	3,146	76,458	-	98,017	14,211
Kas.15	2,619	2,884	2,565	88,951	-	97,932	14,135
Ara.15	1,709	2,154	1,673	77,672	-	97,908	13,824
Oca.16	1,667	2,600	1,631	62,758	-	97,851	13,984
Şub.16	2,853	3,310	2,794	84,400	-	97,921	14,076
Mar.16	3,807	4,622	3,728	80,656	-	97,920	14,263
Yıllık	3,747	4,858	3,670	75,550	15,336	97,950	14,186

b) Gölbaşı GES Tesisi- Otopark Bölümü	Fotovoltaik Dizi Kazancı Ya (kWh/ kW_p/gün)	Referans Kazancı Yr (h/gün)	Final Kazancı Yf (kWh/kW_p/gün)	Performans Oranı PR (%)	Kapasite Faktörü CF (%)	Inverter Verimi (%)	Sistem Verimi (%)
Nis.15	5,189	5,122	5,104	99,637	-	98,351	15,209
May.15	5,308	6,261	5,221	83,392	-	98,372	14,103
Haz.15	4,863	7,080	4,782	67,542	-	98,334	15,101
Tem.15	6,062	7,409	5,960	80,438	-	98,314	14,790
Ağu.15	5,250	6,618	5,164	78,033	-	98,369	15,140
Eyl.15	4,220	5,574	4,154	74,531	-	98,448	14,886
Eki.15	3,002	3,961	2,958	74,673	-	98,531	15,086
Kas.15	2,303	2,748	2,270	82,602	-	98,528	15,111
Ara.15	1,678	2,047	1,652	80,701	-	98,458	15,164
Oca.16	1,169	2,471	1,149	46,476	-	98,264	15,168
Şub.16	2,805	3,185	2,761	86,694	-	98,408	15,165
Mar.16	3,765	4,499	3,704	82,331	-	98,382	14,414
Yıllık	3,803	4,752	3,741	78,731	15,632	98,386	15,214
c) Gölbaşı GES Tesisi- Arazi	Fotovoltaik Dizi Kazancı Ya (kWh/ kW_p/gün)	Referans Kazancı Yr (h/gün)	Final Kazancı Yf (kWh/kW_p/gün)	Performans Oranı PR (%)	Kapasite Faktörü CF (%)	Inverter Verimi (%)	Sistem Verimi (%)
Nis.15	5,263	5,338	5,166	96,789	-	98,171	15,160
May.15	5,160	6,297	5,065	80,442	-	98,167	15,144
Haz.15	4,548	7,005	4,464	63,733	-	98,168	15,244
Tem.15	5,860	7,411	5,751	77,604	-	98,145	15,161
Ağu.15	5,432	6,874	5,332	77,560	-	98,148	15,134
Eyl.15	4,908	6,128	4,816	78,591	-	98,135	15,020
Eki.15	3,655	4,607	3,589	77,909	-	98,199	15,142
Kas.15	3,037	3,352	2,981	88,927	-	98,170	15,232
Ara.15	1,991	2,535	1,955	77,092	-	98,185	15,233
Oca.16	2,228	3,046	2,187	71,788	-	98,133	15,269
Şub.16	3,340	3,728	3,278	87,929	-	98,131	15,184
Mar.16	4,235	4,980	4,157	83,465	-	98,142	15,251
Yıllık	4,139	5,112	4,063	79,473	16,975	98,157	15,158

Fotovoltaik Dizi Kazancı (Y_a)

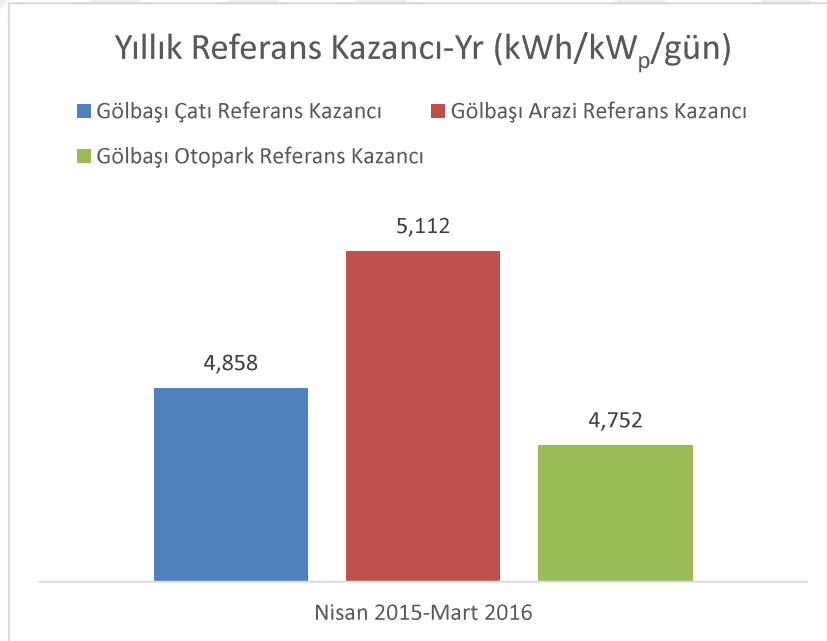
Gölbaşı GES tesisindeki Fotovoltaik Dizi Kazancı değerleri hesaplanırken Torbalı GES bölümünde kullanılan hesaplama metodu ile aynı metod kullanılmıştır. Gölbaşı GES'te Nisan 2015 ile Mart 2016 ayları arasında en fazla ortalama Fotovoltaik Dizi Kazancı değeri arazi bölümünde 4,139 kWh/kW_p/gün'dür (Şekil 3.43).



Şekil 3.43: Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Fotovoltaik Dizi Kazancı Değerleri

Referans Kazancı (Y_r)

Referans Kazancı, Gölbaşı GES tesisinde FV modül üzerine düşen ışınımın standart test koşullarında ışınım değerine bölünmesi ile elde edilir. Bu değer aynı zamanda yıllık maksimum güneş ışığı saati değerine eşittir. Yıllık ortalama Referans Kazancı 4,858 kWh/kW_p/gün değeri ile en fazla arazi bölümündeki fotovoltaik sistemdedir (Şekil 3.44).

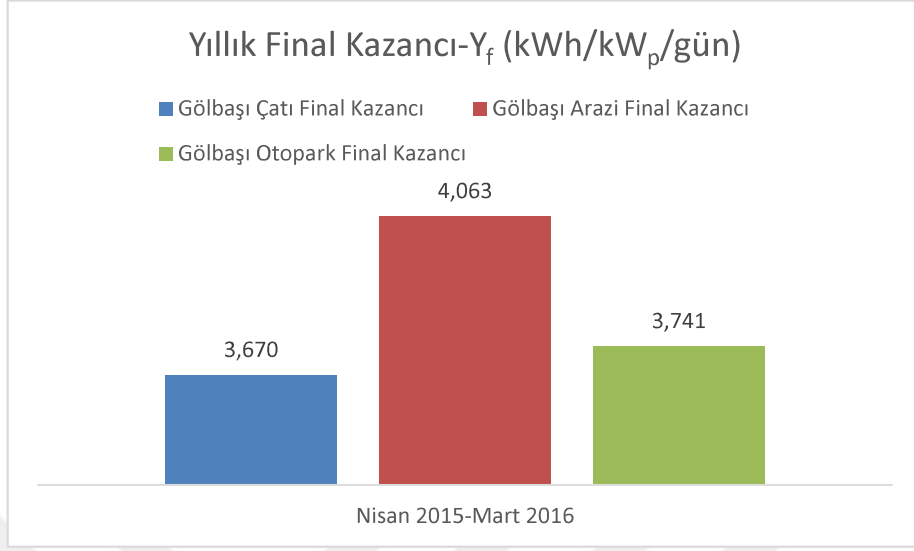


Şekil 3.44: Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Ortalama Referans Kazancı Değerleri

Final Kazancı (Y_f)

Final Kazancı parametresinin birimi kWh/kW_p/gün'dür. Gölbaşı GES tesisinde eviricilerden elde edilen AC enerji değerinin, santralin STK'da maksimum DC güç değerine

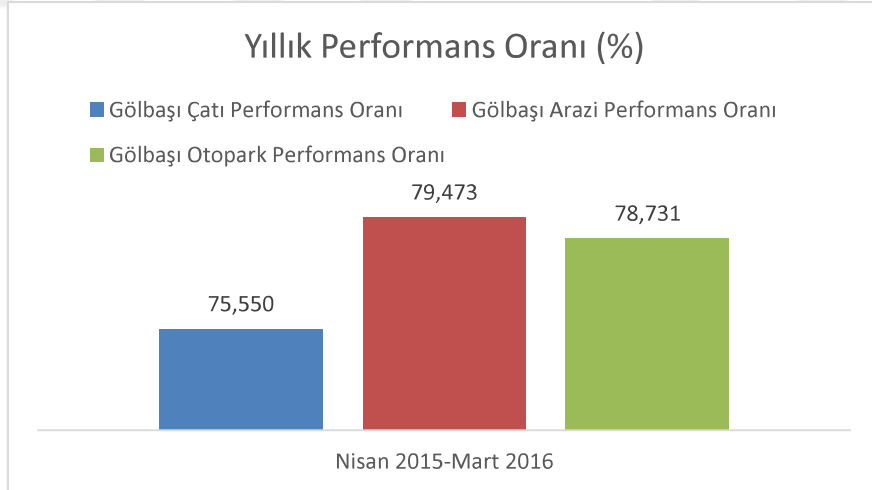
bölünmesi ile elde edilir. Yıllık ortalama Final Kazancı en fazla 4,063 kWh/kW_p/gün değeri ile arazi bölümündeki fotovoltaik sistemindir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45: Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Final Kazancı Değerleri

Performans Oranı (PR)

Performans Oranı, Final Kazancı değerinin Referans Kazancı değerine bölünmesi ile elde edilir. Gölbaşı GES tesisinde yıllık Performans Oranı en fazla %79,74 ile arazi bölümündeki fotovoltaik sistemindir (Şekil 3.46).



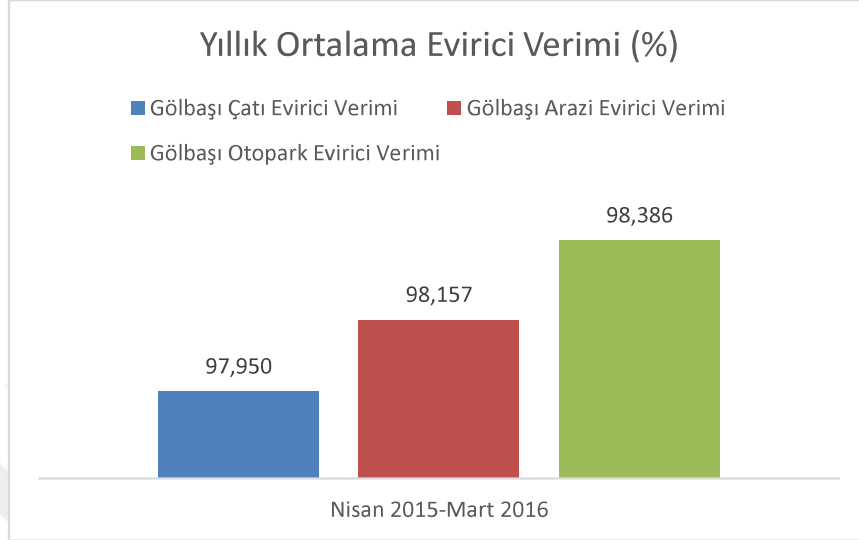
Şekil 3.46: Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Performans Oranı Değerleri

Kapasite Faktörü (CF)

Kapasite faktörü enerji santrallerinin verimini ifade etmekte kullanılan genel bir parametredir. Fotovoltaik sistemlerde Kapasite Faktörü hesaplanırken bir yılda elde edilen AC enerjinin, santralin bir yılda aralıksız çalıştığı varsayılarak maksimum DC gücünün bir yıldaki saat sayısı ile çarpımına bölünerek elde edilir. Torbalı GES tesisinin Kapasite Faktörü %16,34'tür.

Evirici Verimi (η_{inv})

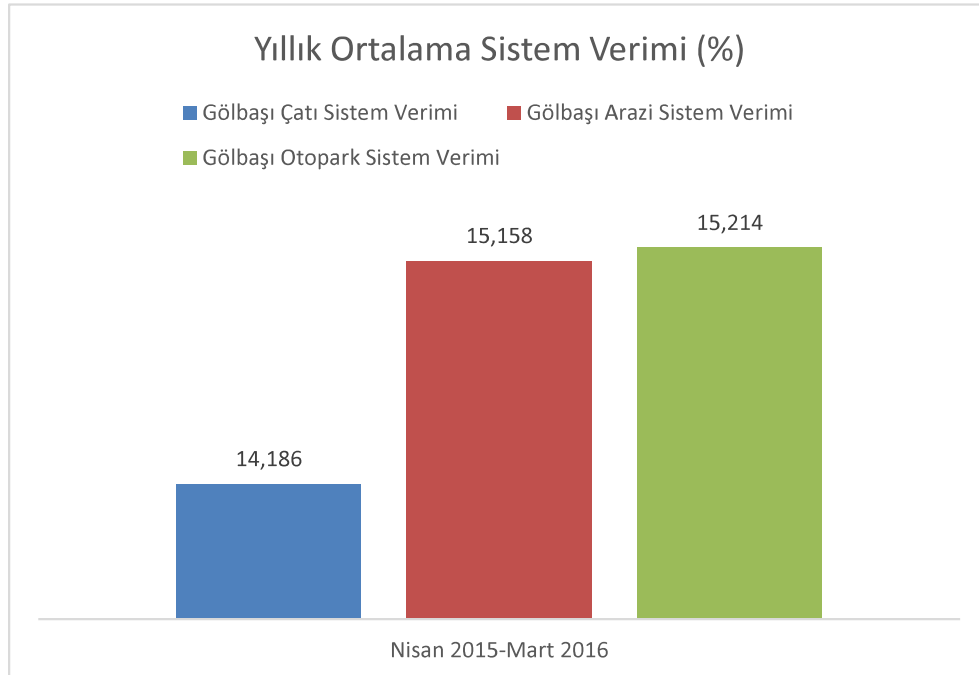
Evirici Verimi eviricilerden elde edilen AC enerjinin DC enerjiye bölünmesi ile elde edilir. Torbalı GES tesisinin yıllık ortalama Evirici Verimi %97,935'tir. Şekil 3.47'de tesise ait ortalama aylık Evirici Verimi değerleri bulunmaktadır.



Şekil 3.47: Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Evirici Verimi Değerleri

Sistem Verimi (η_{sys})

FV modül verimi STK'da %15,51'dir. Gölbaşı GES tesisinin 2015 yılında yıllık Sistem Verimi %15,19'dur. Şekil 3.48'de tesise ait ortalama Gölbaşı GES tesisinin çatı, arazi ve otopark bölümleri için yıllık Sistem Verimi değerleri bulunmaktadır. En yüksek sistem verimi otopark bölümünde elde edilmiştir.



Şekil 3.48: Gölbaşı GES Tesisinde Bölümlerin Yıllık Sistem Verimi Değerleri

4. PVSYST PROGRAMI İLE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN MODELLENMESİ

PVsyst güneş enerjisi sektöründe EPC firmaları tarafından tasarım yapılırken en çok kullanılan programlardan bir tanesidir. Bu programda güneş açıları, fotovoltaiik sistem girdileri, kayıplar, gölge ve dizi modellemesi gibi girdiler ile performans analizi yapılabilmektedir. Birçok firma, yatırımcılara PVsyst programı ile hesaplanan üretim değerlerini taahhüt edebilmektedir. Program, Helios gibi 3 boyutlu tasarım programları ile entegre çalışabilmektedir. Böyle bir imkan olmadığı taktirde, PVsyst 6 versiyonundan itibaren gölge analizi için fotovoltaiik sistemlerin tasarımı yapılabilmektedir. Bu çalışmada PVsyst programının öğrenci sürümü kullanılmıştır.

PVsyst programında iklim veri tabanı olarak Meteonorm ve NASA gibi büyük meteoroloji veritabanına sahip kuruluşların bilgileri kullanılabilmektedir. Geçmişte kaydedilmiş ücretsiz istasyon kayıtlarına ulaşılabilir. Işınım ve sıcaklık tahminleri için son 20-30 yılın iklim veritabanları programda ücretli olarak sunulmaktadır. Güncel olan bilgiler yapılan tahminlerde doğruluk payını arttırabilmektedir. Eğer tasarımı yapılacak bölgede bir ölçüm istasyonu bulunuyorsa, bu istasyondan elde edilecek ışıınım, nem, sıcaklık ve rüzgar hızı değerleri PVsyst programına aylık olarak işlenebilmektedir.

Torbalı ve Gölbaşı tesislerinin aylık ortalama Küresel ve Dağınmık Yatay Işınım değerleri NASA-SSE veritabanından alınmıştır [66]. Veritabanında uydulardan elde edilen 22 yıllık meteoroloji verileri bulunmaktadır. Ortam sıcaklığı değerleri ise, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın internet üzerinden açık kaynak olarak yayınladığı Gölbaşı ve Torbalı meteoroloji istasyonlarından alınmıştır.

PVsyst programının önemli özelliklerinden biri sistemin üç boyutlu olarak modellenemesidir. Söz konusu bölümde FV modülleri, binalar, fotovoltaiik sistemin üzerinde gölge oluşturacak cisimler kullanılarak tasarım daha detaylı bir hale getirilebilmektedir. Sistem tasarlandıktan sonra gün bazında gölge simülasyonu yapılabilmekte, hangi modülün ya da dizinin gölgeden etkileneceğini belirlemek için alternatif olarak “modül yerleşimi” bölümü PVsyst 6 versiyonundan itibaren kullanıma sunulmuştur.

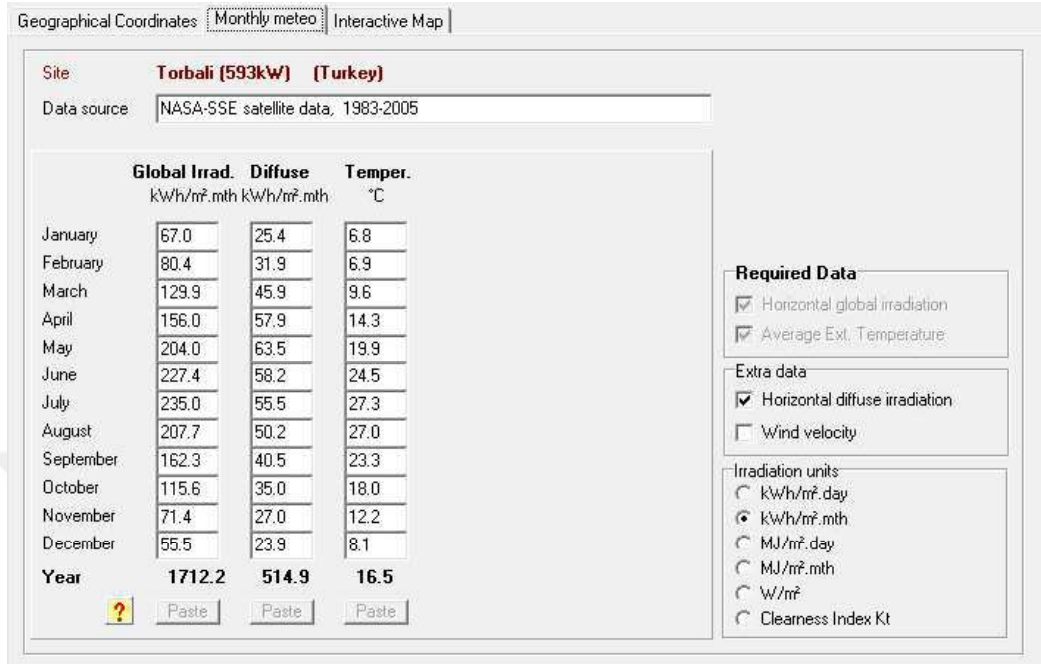
Bu bölümde PVsyst programı ile Torbalı GES ve Gölbaşı GES tesislerinin modellenmesi yapılacak, simülasyon sonuçları değerlendirilecektir.

4.1) Torbalı GES Tesisinin Modellenmesi

4.1.a) Meteoroloji Bilgileri

Meteorolojik değerleri PVsyst programında tanımlamak için ana menüden “Veritabanı” sekmesinden “Meteoroloji Çizelgeleri ve Şekilleri” alt sekmesine girilir. Torbalı GES tesisinin PVsyst tasarımı için önemli olan aylık ortalama sıcaklık ve ışıınım değerleri NASA-SSE, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı veritabanlarından alınmıştır [66] [67]. Meteoroloji

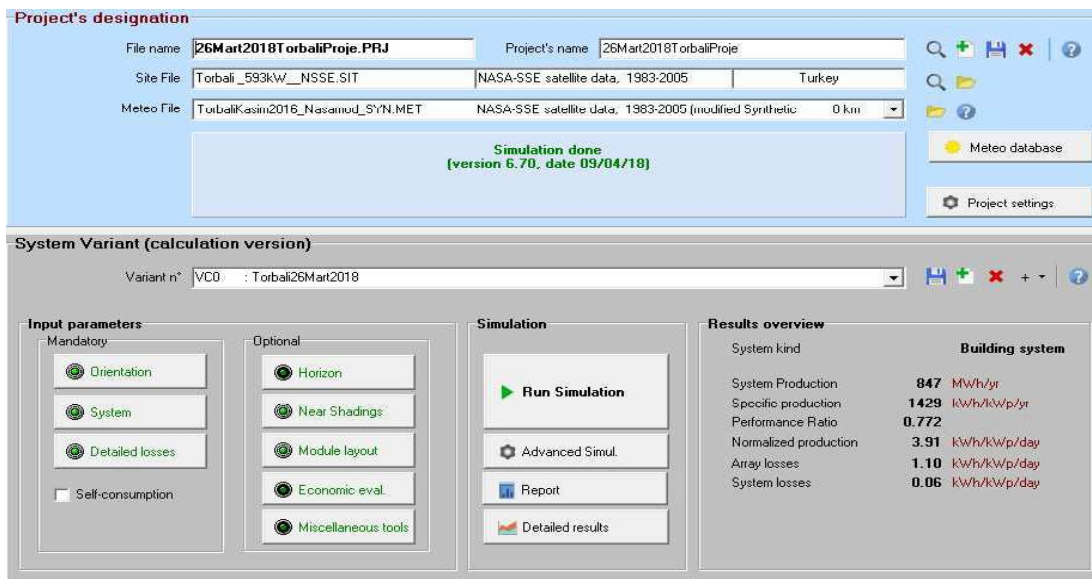
değerleri “Saha Verilerinin İncelenmesi” bölümündeki değerleri ile aynıdır. Aylık Meteoroloji Verileri sekmesinde Işınım değerleri günlük ve aylık olarak kWh/m² ve MJ/m² bazında görülebilmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Veritabanı Bölümünde Torbalı GES Işınım ve Sıcaklık Değerlerinin Görünümü

4.1.b) Fotovoltaik Sistem Girdileri

“Fotovoltaik Sistem Girdileri” bölümüne ana menüden “Proje Tasarımı” sekmesi ve “Şebeke Bağlantılı” alt sekmelerinden ulaşılabilir. Torbalı GES tasarımı için “Oryantasyon”, “Sistem”, “Kayıplar”, “Gölge Analizi” ve “FV modül Yerleşimi” bölümleri kullanılacaktır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Fotovoltaik Sistem Girdileri Bölümü

Oryantasyon

Bu bölümde öncelikle fotovoltaik sistemin sabit eksenli olup olmadığı belirlenir (Şekil 4.3). Sonrasında FV modüllerin kurulu olduğu yüzey ile yaptığı açı ve azimut açısı girilir. Parametreler girildikten sonra modül üzerine ne kadar ışıyım düşeceği “Yıllık Meteoroloji Kazancı” bölümünde görülebilir. “Saha Verilerinin İncelenmesi” bölümünde de belirtildiği üzere PVSyst programında Torbalı GES tesisi için modül açısı 12° ve azimut açısı 26° olarak girilmiştir.

Field type: Fixed Tilted Plane

Field parameters

Plane Tilt: 12° [°]
Azimuth: 26° [°]

Tilt 12°

Azimuth 26°

West East
South

Optimisation by respect to:

☒ Yearly irradiation yield ?
☐ Summer (Apr-Sep)
☐ Winter (Oct-Mar)

Yearly meteo yield

Transposition Factor FT: 1.07
Loss By Respect To Optimum: -5.5%
Global on collector plane: 1760 kWh/m²

Show Optimisation

Şekil 4.3: Güneş Açılarının Belirlendiği “Oryantasyon” Bölümü

Dizi Girdileri

Bu bölümde fotovoltaik sistemin DC gücü ve dizi çeşidi sayısı belirlenmektedir. Sonrasında, modül seçimi ve evirici seçimi yapılır (Şekil 4.4). Evirici sayısı belirlendikten sonra, dizideki modül sayısı ve sistemdeki toplam dizi sayısı belirlenir. Torbalı GES santralinde programın veritabanında bulunan 2280 adet Solar World marka polikristal 260 Watt FV modül ve Platinum marka 38 adet 15 kW_e gücünde evirici seçilmiştir.

Seçilen modül ve dizi sayısına göre kullanıcıyı optimum tasarım yapma konusunda yönlendirecek uyarılar görülebilir. PVSyst programındaki algoritmaya göre Eviricilerin Toplam Çıkış AC gücünün giriş DC gücüne oranı 1 ile 1,2 arasında olması gerekmektedir. Torbalı GES santralindeki oran 1,04’tür.

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Global system summary

Nb. of modules	2280	Nominal PV Power	593 kWp
Module area	3823 m²	Maximum PV Power	543 kWdc
Nb. of inverters	38	Nominal AC Power	570 kWac

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Fixed Tilted Plane

Tilt: 12°

Azimuth: 26°

Presizing Help

☒ No sizing

Enter planned power: 592.8 kWp

... or available area(modules): 3823 m²

Select the PV module

Available Now

SolarWorld

260 Wp 26V Si-poly Sunmodule Protect SW 260 p Since 2013 SolarWorld 12/2013

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 26.3 V

Voc (-10°C) 42.9 V

☐ Use Optimizer

Select the inverter

Available Now

Platinum GmbH (Diehl)

15 kW 350 - 720 V TL 50 Hz Platinum 16000 R3-MDX-10 756199 Since 2012

Nb. of inverters: 38

Operating Voltage: 350-720 V

Global Inverter's power: 570 kWac

Input maximum voltage: 900 V

☐ Use multi-MPPT feature

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 15

Nbre strings: 152

Overload loss: 0.0 %

Prm ratio: 1.04

Nb. modules: 2280

Area: 3823 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C) 394 V

Vmpp (20°C) 476 V

Voc (-10°C) 644 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Imp (STC) 1279 A

Isc (STC) 1359 A

Isc (at STC) 1359 A

Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 531 kW

Array nom. Power (STC) 593 kWp

Şekil 4.4: FV modül ve Evirici Seçimlerinin, Dizi Tasarımının Yapıldığı “Sistem” Bölümü

4.1.c) Kayıplar

Sıcaklık Kaybı

Ortalama sıcaklığı yüksek olan bölgelerde kurulan fotovoltaik sistemlerde performansı en çok etkileyen faktördür. PVsyst programında ısı kaybının hesaplanması için;

$$U * (T_c - T_a) = \alpha * POAI * (1 - \eta_{\text{modül}}) \quad [4.1]$$

$$U = U_c + U_v * v_{\text{rüz}} \quad [4.2]$$

eşitlikleri kullanılmaktadır [68]. Burada, T_a ; ortam sıcaklığı, $POAI$; FV modülün üzerine düşen ışınım, $\eta_{\text{modül}}$; modül verimi, U ; ısıl davranış parametresi, U_c ; sıcaklık sabiti, U_v ; rüzgar faktörü, α ; soğurma katsayısıdır.

Fotovoltaik sistem bileşenlerinin sıcaklık ölçüm değerleri mevcut değil ise, PVsyst U_c parametresinin aşağıdaki durumlar için U_v parametresinin “0” olması koşuluyla seçilebileceğini önermektedir. Eğer rüzgar estiğinde modüller arka yüzeyden gelen rüzgarı fazla miktarda alıyorsa, U_c parametresi 29 W/m²K olarak alınabilir. Eğer rüzgar estiğinde modüller arka yüzeyinden gelen rüzgarı kısıtlı bir şekilde alıyorsa, U_c parametresi 15 W/m²K

olarak alınabilir. Bu durum modüllerin çatılara hemiyüz montaj edildiği durumlarda geçerli olmaktadır. İlk iki durum arasında bir durum söz konusu ise, U_c parametresinin 20 W/m^2 alınabileceği PVsyst dokümanında ifade edilmiştir. Torbalı GES tesisinde FV modüllerinin çatı seviyesinde olması ve yükseklik arttıkça rüzgarın artması modüllerin arka yüzeylerinin rüzgar alması açısından avantaj, ancak modüllerin çatıya hemiyüz montaj edilmesi dezavantaj olarak nitelendirilebilir. Bu yüzden U_c parametresi 20 W/m^2 olarak seçilmiştir (Şekil 4.5).

Field Thermal Loss Factor

Thermal Loss factor $U = U_c + U_v * \text{Wind vel}$

Constant loss factor U_c 20.0 W/m²K

Wind loss factor U_v 0.0 W/m²K / m/s

Default value acc. to mounting

- ☐ "Free" mounted modules with air circulation
- ☒ Semi-integrated with air duct behind
- ☐ Integration with fully insulated back

Şekil 4.5: PVsyst Arayüzünde Sıcaklık Kaybı Bölümü

DC Omik Kayıp

Modül ve evirici arasında bağlantıyı sağlayan DC kabloların enerji varken akıma gösterdiği direnç sebebiyle oluşan kayıplardır. Torbalı GES tesisi için “Saha Verilerinin İncelenmesi” bölümünde %1,47 olarak hesaplanmıştır. PVsyst programında eğer bütün kabloların toplam direnci ya da kayıp miktarı biliniyorsa Omik Kayıp bölümünde doğrudan değerler girilebilmektedir. Modüller arasında 4 mm^2 DC kabloların ortalama uzunluğu, modül evirici arası kabloların kesiti ve uzunluğu ve modül, DC toplama kutusu arası uzunluk biliniyorsa detaylı hesaplama bölümünden ilgili değerler girilip Omik Kayıp yüzdesi hesaplanabilmektedir [67].

PVsyst programında her dizi için kablo kesiti ve uzunluğu tanımlanamamaktadır (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Bu da yapılan hesapların doğruluğunun sorgulanması neden olmaktadır. Ancak TEDAŞ’ın gerilim düşümü kısıtlamasına uyulduğu takdirde yapılan PVsyst tasarımlarında Omik kayıp düşük yüzde de olduğu için sistemin enerji üretimi fazla etkilenmeyecektir. PVsyst ekibi tarafından kablo uzunluklarının ve kesitlerinin bilinmesi halinde ortalama Omik kaybın elle hesaplanarak Omik Kayıp bölümüne girilmesinin daha doğru olacağı ifade edilmektedir.

DC circuit: ohmic losses for the array

Specified by

☒ Global wiring resistance 7.42 mOhm ☒ Calculated **Detailed computation**

☐ Loss fraction at STC 2.03 % ☐ Default ?

Voltage Drop across series diode 0.7 V ☒ Default

AC circuit: inverter to injection point

☐ Significant length, to be accounted for

Length inverter to injection 0.0 m

Loss fraction at STC 0.00 %

Voltage drop at STC 5.2 V ?

External transformer

☐ External transformer present default

Iron loss (constant value) 0.00 % 0.00 kW

Resistive/Inductive losses 0.00 % at STC ☐

(quadratic: $R \propto I^2$, $R = 0.0$ mOhm) ?

☐ Night disconnect

Şekil 4.6: PVsyst Omik Kayıp Arayüz 1

Wiring layout : Groups of parallel strings

	Aver. length m / circuit	Section mm ²	Per circuit Current A	Resistance mOhm	Global array Resistance mOhm
One string = 15 modules:					
String module connexions	0	1.5 mm ²	8.4	0	152 strings: 0.000
Connexions to main box	0	6 mm ²	33.6	0	38 groups: 0.000
Main box to inverter	90	6 mm ²	33.6	282	38 inverters: 7.42

Please specify the total wire lengths for each circuit (try "Schema" button)

Wiring layout

Number of groups (global) 38.0

Number of strings per group 4.0

Field global wiring resistance 7.42 mOhm

MPP Loss fraction at STC 2.0 %

Total copper mass 161 kg

Total wire cost 0 €

Wiring layout

☐ Parallel strings

☒ Groups of parallel strings

Optimisation

Target Loss fraction 1.5 %

☐ Minimize copper mass ?

☐ Minimize cost ?

Schema **Wires**

Cancel **OK**

Şekil 4.7: PVsyst Omik Kayıp Arayüz 2

Dizi Uyuşmazlığı Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Modül Kalitesi

Dizi uyuşmazlığı kaybı Bucciarelli metodu ile Kesim 3.1.3'te %2,5 olarak hesaplanmıştır. PVsyst de ise "Dizi Uyuşmazlığı Kaybı => Detaylı hesaplamalar" bölümünde modüller için akım ve gerilim değerlerinin farklı olduğu 1000 adet senaryoda uyuşmazlık kaybı hesaplanmış ve histogram oluşturulmuştur. Histogramda uyuşmazlık değerlerinin ortalaması %2,3'tür (Şekil 4.8). Bucciarelli metodundan elde edilen sonuç ile PVsyst'ten elde edilen sonuç arasında çok az bir fark vardır.

Işık Eşlikli Bozulma modül kataloğundaki değer olan %3 olarak alınmıştır. Modül kalite değeri hanesine ise katalogda yer alan değer girilmiştir, Şekil 4.8

Module quality default

Module efficiency loss % ☒

Deviation of the average effective module efficiency by respect to manufacturer specifications. 

(negative value indicates over-performance)

Modules mismatch losses default

Power Loss at MPP % ☐

Loss when running at fixed voltage % ☐

Not relevant when MPPT operation

 **Detailed computation** 

LID - Light Induced Degradation default

LID loss factor % ☐

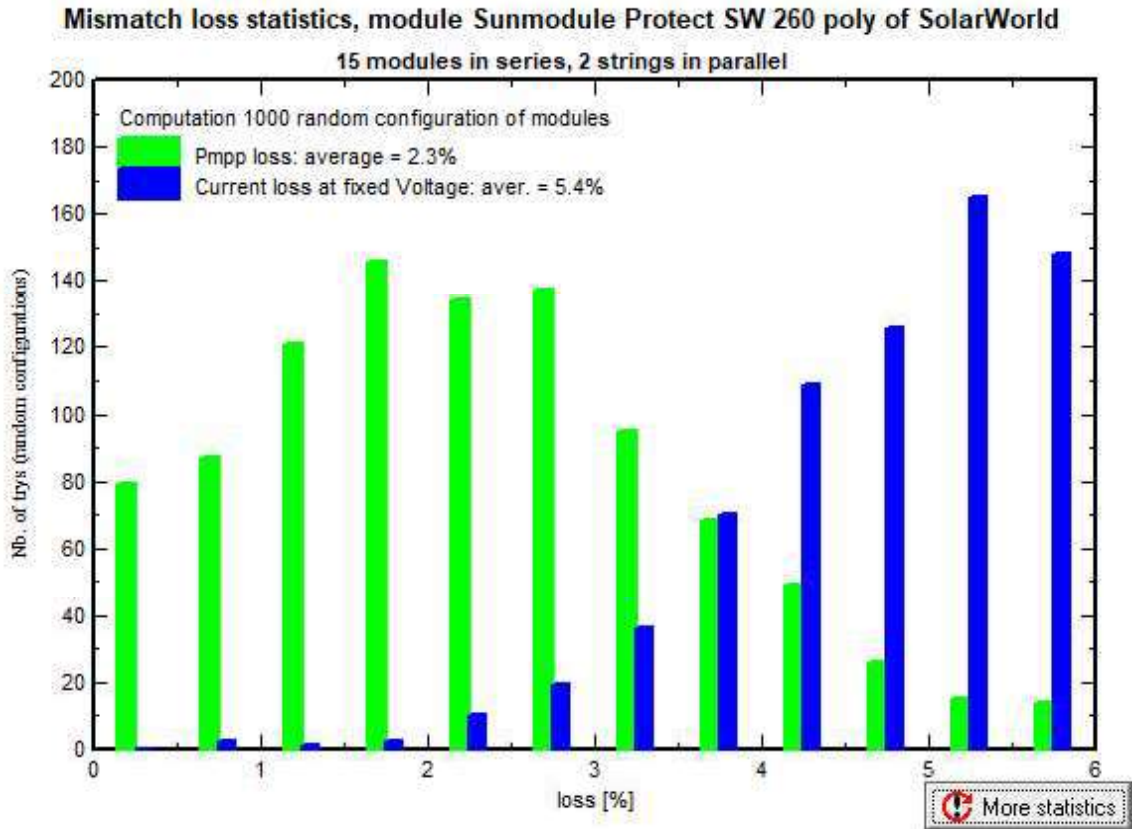
Degradation of crystalline silicon modules, in the first operating hours by respect to the manufacturing flash test STC values. 

Strings voltage mismatch Default

Power Loss at MPP % ☐

 **Detailed study** 

Şekil 4.8: Dizi Uyuşmazlığı Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Modül Kalitesi



Şekil 4.9: Dizi Uyuşmazlığı Kaybı Histogram

Tozlanma Kaybı

PVsyst programında tozlanma kaybı yıllık olarak girilebilmektedir. Gölbaşı ve Torbalı sahalarında böyle bir düzenek kurulmadığı için Kesim 3.1.3'te yer alan çalışmalardaki formüller ile aylık tozlanma kaybı oranları hesaplanmıştır (Şekil 4.10). Tozlanma kaybı yıllık %4,1'dir.

The screenshot shows the 'Yearly soiling loss factor' section with a 'Yearly loss factor' input field set to 0.0% and a 'Define monthly values' checkbox checked. To the right, the 'Monthly soiling values' table lists monthly percentages for each month of the year.

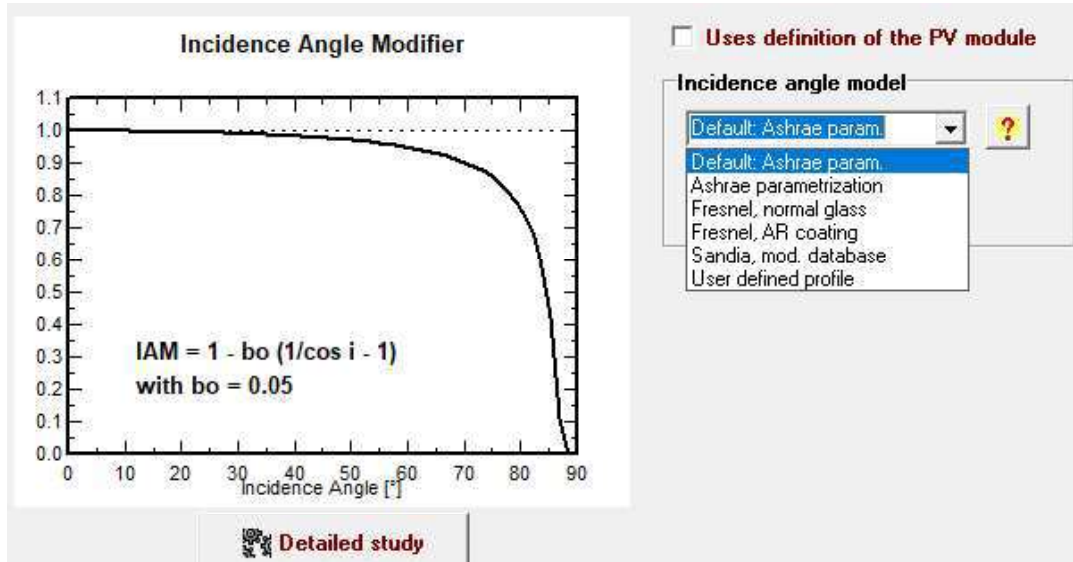
Monthly soiling values			
Jan.	2.7 %	July	2.4 %
Feb.	2.3 %	Aug.	5.0 %
Mar.	2.2 %	Sep.	8.8 %
Apr.	1.7 %	Oct.	6.4 %
May	2.0 %	Nov.	7.7 %
June	1.8 %	Dec.	12.7 %

At the bottom of the monthly values table is a button labeled 'Set all as year' with a green checkmark icon.

Şekil 4.10: Tozlanma Kaybı Aylık Ortalama Değerler

Yansıma Kaybı

FV modül yüzeyinden, EVA malzemesinden ve güneş gözesinden yansıyan güneş ışınları sonucunda oluşan kayıptır. Kesim 3.1.3'te ASHRAE metodu ile hesaplandığı anlatılmıştır (Şekil 4.11). PVsyst programında da aynı metod kullanılmıştır. Hesaplama için başka metodlar da bulunmaktadır [67]. Torbalı GES'te yıllık kayıp değeri %3,2'dir.

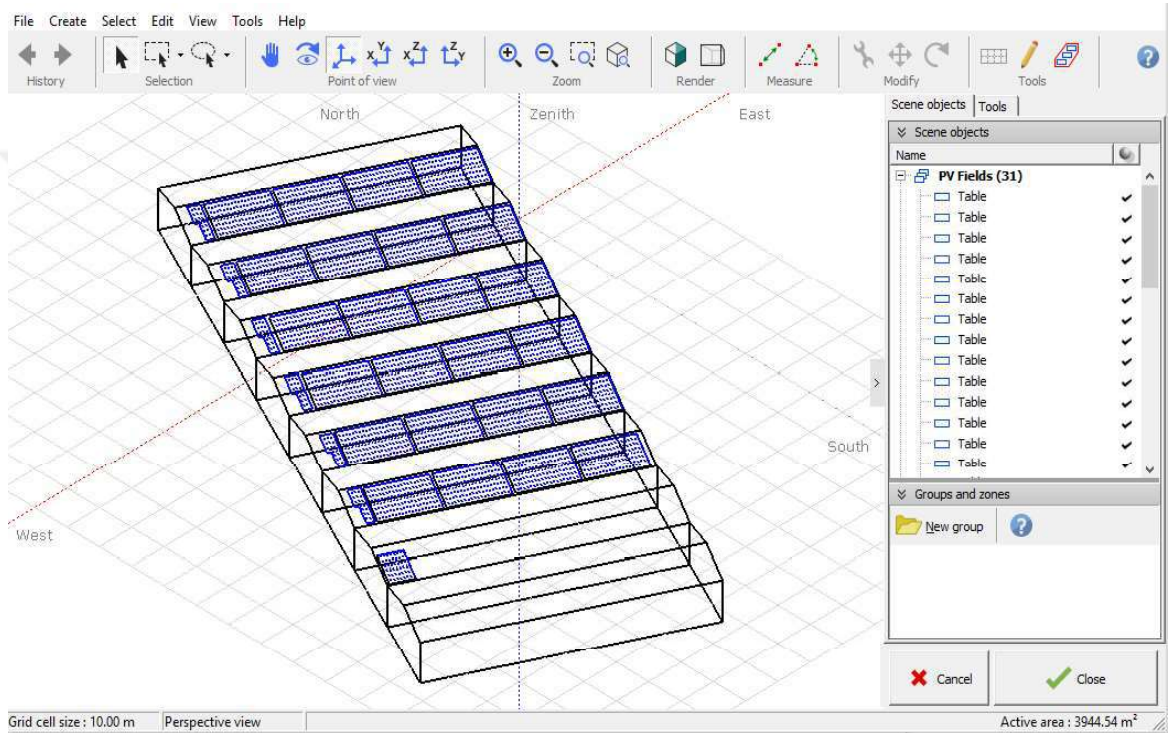


Şekil 4.11: PVsyst Yansıma Kaybı Metod Seçme Bölümü

Gölge Analizi

PVsyst programının önemli özelliklerinden bir tanesi de gölge kaybı hesabının 3 boyutlu tasarım vasıtasıyla yapılabilmesidir. Bu özellik vasıtası ile bir günde güneşin saatlik konumu, fotovoltaik sistem üzerinde düşen gölgenin konumu görülebilmektedir.

Torbalı GES tesisi için 3 boyutlu tasarım bölümünde binanın, FV modül sehpalarının ve modüllerin temsili çizimi Şekil 4.12’de verilmiştir. 15x6, 5x6 ve 15 FV modüllük poligon sehpa olmak üzere 3 tip modül sehpa tasarımı mevcuttur. FV modüllerin kapladığı alan 3823 m²’dir. FV modül sehpalarının kapladığı alan modüller arasında dikey ve yatayda 2’şer cm boşluk olmasından ötürü 3945 m² olmaktadır.



Şekil 4.12: PVsyst 3 Boyutlu Tasarım

Yazılımda, “Gölgenin Olmadığı Varsayılan Durum”, “Doğrusal Gölgeleme” ve “FV modül Yerleşimine Göre Detaylı Simülasyon” olmak üzere 3 farklı gölge simülasyonu çeşidi bulunmaktadır (Şekil 4.13). FV modül yerleşimi yapıldığı için “FV modül Yerleşimine Göre Detaylı Simülasyon” seçeneği seçilmiştir. Gölge faktörü tablosuna bakıldığında güneş yükseklik açısının 10° ve altında olduğu durumlarda sistemde gölge oluştuğu gözlenmiştir. Yıllık gölgeden ışıınım kaybı %0,4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.14).

Comment:

Compatibility with Orientation and System parameter

	Orient./System	Shadings
Active area	3823 m²	3945 m²
Fields tilt	12.0°	12.0°
Fields azimuth	26.0°	26.0°

Information:

Use in simulation:

☐ No Shadings

☐ Linear shadings

☐ According to module strings

Fraction for electrical effect: %

Calculation mode:

☐ Fast (table)

☒ Slow (simul.)

Model library:

☒ Detailed, according to Module Layout

Şekil 4.13: PVsyst Gölge Analizi Ana Pencere

Status: Displaying generated tables

Show:

☒ Linear table

☐ Module strings table

Plane orientation: Fixed Tilted Plane **Tilt = 12°, Azimut = 26°**

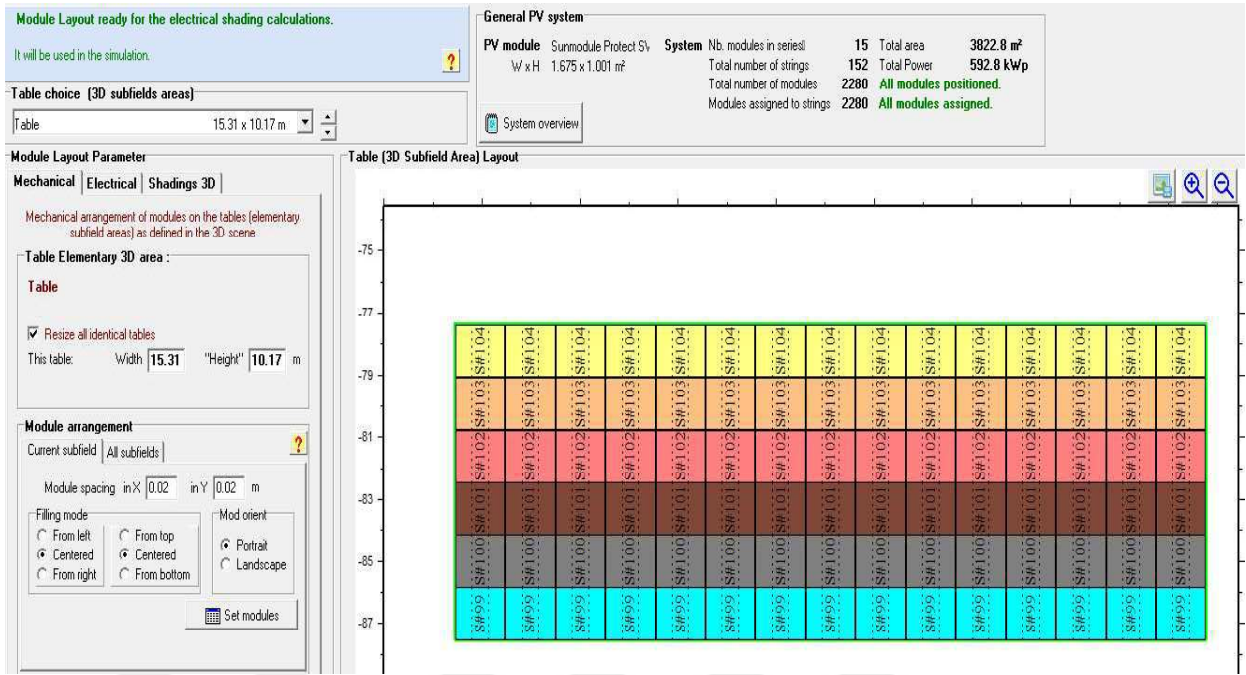
Shading factor table (linear), for the beam component, Orient. #1

Azimuth	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
Height																			
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
2°	Behind	Behind	Behind	0.000	0.008	0.001	0.007	0.261	0.492	0.612	0.677	0.669	0.592	0.438	0.115	0.005	0.000	0.002	Behind

Shading factor for diffuse: 0.009 and for albedo: 0.580

Şekil 4.14: PVsyst Gölge Faktörü Tablosu

“FV modül Yerleşimi” bölümünde 152 adet dizinin yerleri belirlenmiştir. Bu bölümde mekanik ve elektriksel yerleşimi tamamladıktan sonra dizileri atanmış fotovoltaik sistem üzerinden gölge simülasyonu yapılabilmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: PVsyst FV modül Yerleşimi

4.1.c) Simülasyon Sonuçları

PVsyst simülasyonundan Torbalı GES tesisi için aylık ve yıllık elektriksel ve performans değerlerini elde etmek mümkündür (Çizelge 4.1). Simülasyon sonuçlarına göre FV modüllerinin yüzeyine gelen ışınlım miktarı yıllık $1851,5 \text{ kWh/m}^2$, eviricilerde toplam elde edilen yıllık AC enerji ise $848,67 \text{ MWh}$ 'tir.

Çizelge 4.1: PVsyst Ana Sonuç Tablosu

	GlobHor	DiffHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh
January	67.0	25.40	7.30	84.8	78.1	43088	42418
February	80.4	31.90	8.50	93.7	87.7	47341	46585
March	129.9	45.90	11.00	146.2	137.5	73014	71905
April	156.0	57.90	14.00	164.7	156.1	81394	80149
May	204.0	63.50	21.40	208.3	197.3	97674	96179
June	227.4	58.20	24.00	227.3	216.3	104873	103275
July	235.0	55.50	28.30	237.4	224.6	106059	104439
August	207.7	50.20	28.60	216.7	199.3	94920	93471
September	162.3	40.50	25.20	178.5	157.4	77249	76061
October	115.6	35.00	19.20	135.2	121.5	62543	61580
November	71.4	27.00	14.30	88.5	77.7	41468	40815
December	55.5	23.90	6.80	70.2	58.1	32330	31793
Year	1712.2	514.90	17.43	1851.5	1711.6	861952	848670

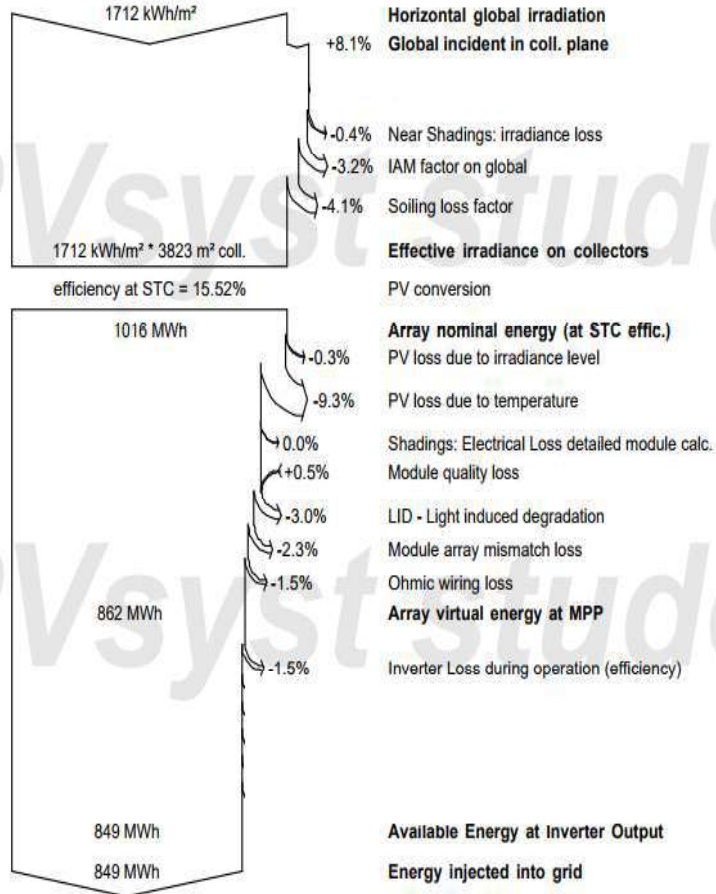
Saha verilerinden elde edilen sonuçları PVsyst sonuçları ile kıyaslanmasını sağlayacak performans değerleri Çizelge 4.2'de görülmektedir. Çizelgede, Y_r ; referans kazancı, Y_a ;

fotovoltaik dizi kazancı, Y_f ; final kazancı, PR; performans oranı, L_c ; güneş enerjisinden eviriciye kadar olan enerji kayıplarını, L_{sr} ; L_s/Y_r eşitliğini, L_{cr} ; L_c/Y_r eşitliğini, L_s ; evirici kaybını ifade eder. Çizelgeye göre en düşük performans oranı Eylül ayında, en yüksek performans oranı Ocak ayında gözlenmiştir. Yıllık performans oranı ise %77,3'tür. Torbalı GES tesisinin fotovoltaik dizi kazancı ortalama 3,98 kWh/kW_p/gün, fotovoltaik final kazancı ise 3,92 kWh/kW_p/gün'dür. Referans kazancından, dizi kazancına dönüşüm sırasında oluşan kayıp en fazla Temmuz ayında meydana gelmiştir.

Çizelge 4.2: PVsyst Performans Parametreleri

	Yr kWh/m ² .day	Lc	Ya kWh/kW _p /d	Ls	Yf kWh/kW _p /d	Lcr	Lsr	PR
Ocak	2.73	0.389	2.34	0.036	2.31	0.142	0.013	0.844
Şubat	3.35	0.495	2.85	0.046	2.81	0.148	0.014	0.839
Mart	4.72	0.742	3.97	0.060	3.91	0.157	0.013	0.830
Nisan	5.49	0.914	4.58	0.070	4.51	0.167	0.013	0.821
Mayıs	6.72	1.404	5.32	0.081	5.23	0.209	0.012	0.779
Haziran	7.58	1.681	5.90	0.090	5.81	0.222	0.012	0.766
Temmuz	7.66	1.886	5.77	0.088	5.68	0.246	0.012	0.742
Ağustos	6.99	1.825	5.17	0.079	5.09	0.261	0.011	0.728
Eylül	5.95	1.607	4.34	0.067	4.28	0.270	0.011	0.719
Ekim	4.36	0.957	3.40	0.052	3.35	0.219	0.012	0.769
Kasım	2.95	0.618	2.33	0.037	2.30	0.210	0.012	0.778
Aralık	2.26	0.506	1.76	0.029	1.73	0.223	0.013	0.764
Year	5.07	1.089	3.98	0.061	3.92	0.215	0.012	0.773

Simülasyon sonuçlarında kayıp parametreleri bir şema halinde belirtmektedir (Şekil 4.16). Torbalı GES tesisinde PVsyst sonuçlarına göre en fazla kaybın sıcaklıktan olduğu görülmektedir. Sıcaklık kaybını etkinlik açısından sırasıyla Tozlanma Kaybı, Yansıma Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Dizi Uyuşmazlığı Kaybı izlemektedir. Torbalı GES tesisinde modül üzerine yıl boyunca düşen 6545 MWh değerinde ışıınım enerjisi, elektrik enerjisine çevrildikten sonra 1016 MWh değerine düşmektedir. DC kayıplar sonrasında 860 MWh, evirici içerisinde DC-AC çevrimi sonrasında PVsyst programı ile yapılan tahmin sonucunda bu sistemde 849 MWh enerji üretileceği tahmin edilmiştir.



Şekil 4.16: PVsyst Torbalı GES Kayıp Yüzdeleri

4.2) Gölbaşı GES Tesisinin Modellenmesi

4.2.a) Meteoroloji Bilgileri

Gölbaşı GES tesisi konumu için PVsyst programında elde edilen aylık ve yıllık ortalama GHI, DHI ve ortam sıcaklığı değerleri Şekil 4.17’de görülmektedir. Söz konusu değerler, Torbalı GES’inkilere göre daha azdır. Torbalı’nın daha güneyde olmasından ötürü ışıınım değeri, rakımı daha az ve deniz kenarında olmasından ötürü sıcaklık değeri Gölbaşı ilçesinden daha fazladır.

Geographical Coordinates

Monthly meteo

Interactive Map

Site

Golbasi Ankara (Turkey)

Data source

NASA-SSE satellite data, 1983-2005 (modified by user)

Global Irrad.

Diffuse

Temper.

kWh/m².mth

kWh/m².mth

°C

January

63.9

26.0

-1.2

February

80.4

32.3

5.4

March

126.5

46.8

6.4

April

145.5

58.2

7.4

May

187.2

64.2

15.4

June

206.7

58.5

16.6

July

222.0

55.8

22.6

August

193.8

50.2

22.9

September

152.1

40.8

21.8

October

107.3

35.6

12.8

November

69.3

27.3

7.5

December

52.7

23.9

-1.6

Year

1607.4

519.6

11.3

?

Paste

Paste

Paste

Şekil 4.17: Veritabanı Bölümünde Gölbaşı GES Işınım ve Sıcaklık Değerlerinin Görünümü

4.2.b) Fotovoltaik Sistem Girdileri

Şekil 4.18’de Gölbaşı GES tesisinde çatı bölümü için fotovoltaik sistem bilgileri girilmiştir. Arayüzde Gölbaşı GES tesisi çatı bölümünün simülasyonunda elde edilen ana sonuçlar bulunmaktadır.

Project's designation

File name: **Golbasi Ankara_Project.PRJ** Project's name: **Golbasi Ankara 200_kWp_Cati**

Site File: **Golbasi Ankara_Nasamod.SIT** NASA-SSE satellite data, 1983-2005 (modified) Turkey

Meteo File: **Golbasi Ankara_Nasamod_SYN.MET** NASA-SSE satellite data, 1983-2005 (modified Synthetic) 0 km

Simulation done (version 6.70, date 08/04/18)

System Variant (calculation version)

Variant n°: **VCO : Golbasi Ankara Project Cati**

Input parameters

Mandatory:

- ☒ Orientation
- ☒ System
- ☒ Detailed losses
- ☐ Self-consumption

Optional:

- ☒ Horizon
- ☒ Near Shadings
- ☒ Module layout
- ☒ Economic eval.
- ☒ Miscellaneous tools

Simulation

Results overview

System kind: **Sheds on a building**

System Production: **102 MWh/yr**

Specific production: **1.365 kWh/kWp/yr**

Performance Ratio: **0.765**

Normalized production: **3.74 kWh/kWp/day**

Array losses: **1.09 kWh/kWp/day**

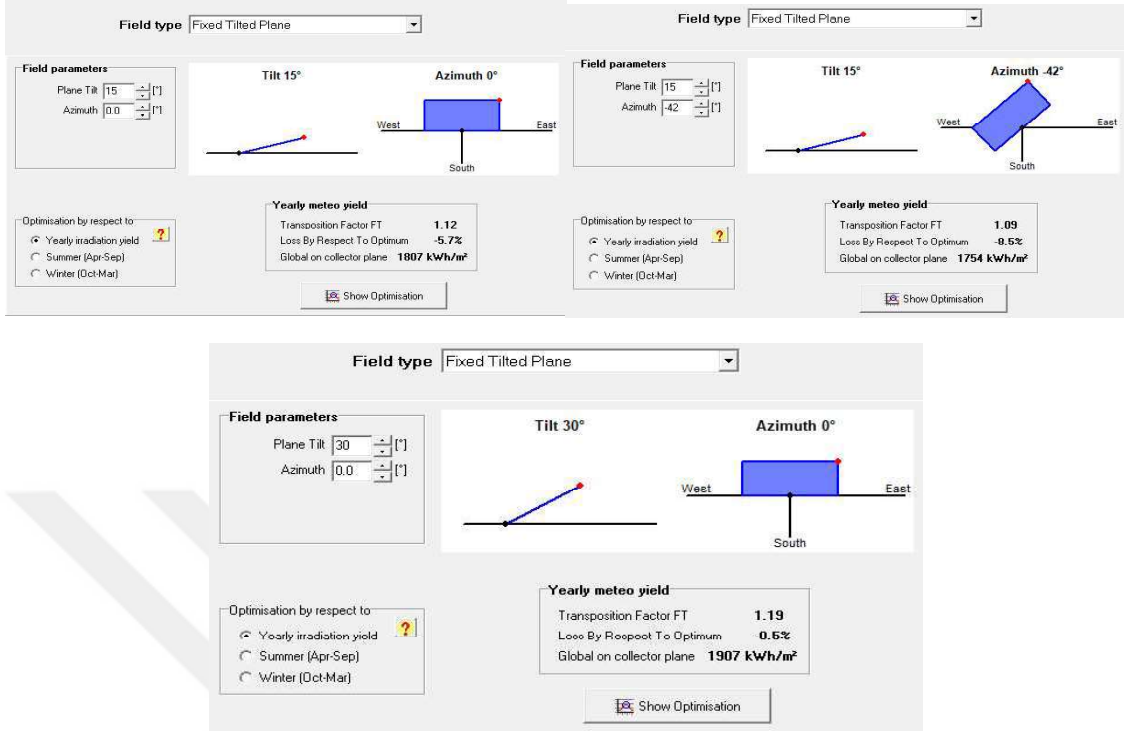
System losses: **0.06 kWh/kWp/day**

Şekil 4.18: Fotovoltaik Sistem Girdileri Bölümü

Oryantasyon

Bu bölümde öncelikle fotovoltaik sistemin sabit eksenli olup olmadığı belirlenir. Sonrasında, FV modüllerin kurulu olduğu yüzey ile yaptığı açı ve azimut açısı girilir. Parametreler girildikten sonra modül üzerine ne kadar ışınlım düşeceği “Yıllık Meteoroloji Kazancı” bölümünde görülebilir. “Saha Verilerinin İncelenmesi” bölümünde de belirtildiği üzere PVsyst programında Gölbaşı GES tesisi için otopark bölümünde

modül açısı 15° ve azimut açısı -42° , çatı bölümünde modül açısı 15° ve azimut açısı 0° , arazi bölümünde modül açısı 30° ve azimut açısı 0° olarak girilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: Güneş Açılarının Belirlendiği “Oryantasyon” Bölümü (Çatı-üst sol, Otopark-Üst Sağ, alt Arazi)

Dizi Girdileri

Bu bölümde fotovoltaik sistemin DC gücü ve dizi çeşidi sayısı belirlenmektedir. Sonrasında, modül seçimi ve evirici seçimi yapılır (Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Evirici sayısı belirlendikten sonra, dizideki modül sayısı ve sistemdeki toplam dizi sayısı belirlenir. Gölbaşı GES tesisinde programın veritabanında bulunan 800 adet Solar Fabrik marka polikristal 250 Watt FV modül ve Platinum marka 13 adet 15 kW_e , 1 adet 5 kW_e güçlerinde eviriciler seçilmiştir. Burada diğerlerinden farklı olarak Arazi bölümü sistem girdilerinde 2 farklı alt dizi tanımlanmıştır. Bir tanesinde 7 adet evirici ve eviricilerin her dizisinde seri bağlı 15 adet modül, diğerinde ise 1 adet evirici ve eviricinin dizisine 20 adet seri bağlı modül bulunmaktadır.

Seçilen modül ve dizi sayısına göre kullanıcıyı optimum tasarım yapma konusunda yönlendirecek uyarılar görülebilir. PVsyst programındaki algoritmaya göre Eviricilerin Toplam DC gücünün AC güce oranı 1 ile 1,2 arasında olması gerekmektedir. Gölbaşı GES santralindeki oran 1’dir.

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Global system summary

Nb. of modules	300	Nominal PV Power	75.0 kWp
Module area	499 m²	Maximum PV Power	71.7 kWdc
Nb. of inverters	5	Nominal AC Power	75.0 kWac

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Fixed Tilted Plane

Tilt: 15°

Azimuth: 0°

Presizing Help

☐ No sizing Enter planned power: 75.0 kWp

☐ or available area(modules): 499 m²

Select the PV module

All modules

SolarFabrik 250 W/p 25V Si-poly Premium L poly Until 2016 SolarFabrik 12/201: Open

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 25.7 V

Voc (-10°C) 41.8 V

☐ Use Optimizer

Select the inverter

Available Now

Platinum GmbH (Diehl) 15 kW 350 - 720 V TL 50 Hz Platinum 16000 R3-MDX-10 756199 Since 2012 Open

Nb. of inverters: 5

Operating Voltage: 350-720 V

Global Inverter's power: 75.0 kWac

☐ Use multi-MPPT feature

Input maximum voltage: 900 V

Inverter with 2 MPPT

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 15 between 14 and 21

Nbre strings: 20 only possibility 20

Overload loss: 0.0 %

Phom ratio: 1.00 Show sizing

Nb. modules: 300 Area: 499 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C) 386 V

Vmpp (20°C) 462 V

Voc (-10°C) 627 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Imp (STC) 166 A

Isc (STC) 177 A

Isc (at STC) 177 A

Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 67.2 kW

Array nom. Power (STC) 75.0 kWp

Şekil 4.20: FV modül ve Evirici Seçimlerinin, Dizi Tasarımının Yapıldığı “Sistem” Bölümü (Çatı)

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Global system summary

Nb. of modules	60	Nominal PV Power	15.0 kWp
Module area	100 m²	Maximum PV Power	14.3 kWdc
Nb. of inverters	1	Nominal AC Power	15.0 kWac

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Fixed Tilted Plane

Tilt: 15°

Azimuth: -42°

Presizing Help

☐ No sizing Enter planned power: 15.0 kWp

☐ or available area(modules): 100 m²

Select the PV module

All modules

SolarFabrik 250 W/p 25V Si-poly Premium L poly Until 2016 SolarFabrik 12/201: Open

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 25.7 V

Voc (-10°C) 41.8 V

☐ Use Optimizer

Select the inverter

Available Now

Platinum GmbH (Diehl) 15 kW 349 - 710 V TL 50 Hz Platinum 16000 TLD 749841 Since 2011 Open

Nb. of inverters: 1

Operating Voltage: 349-710 V

Global Inverter's power: 15.0 kWac

☐ Use multi-MPPT feature

Input maximum voltage: 880 V

Inverter with 2 MPPT

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 15 between 14 and 21

Nbre strings: 4 only possibility 4

Overload loss: 0.0 %

Phom ratio: 1.00 Show sizing

Nb. modules: 60 Area: 100 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C) 386 V

Vmpp (20°C) 462 V

Voc (-10°C) 627 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Imp (STC) 33.2 A

Isc (STC) 35.4 A

Isc (at STC) 35.4 A

Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 13.4 kW

Array nom. Power (STC) 15.0 kWp

Şekil 4.21: Modül ve Evirici Seçimlerinin, Dizi Tasarımının Yapıldığı “Sistem” Bölümü (Otopark)

Global System configuration		Global system summary	
2	Number of kinds of sub-arrays	Nb. of modules	440
		Module area	732 m ²
		Nb. of inverters	8
		Nominal PV Power	110 kWp
		Maximum PV Power	107 kWdc
		Nominal AC Power	110 kWac

Sub-array #1		Sub-array #2	
Sub-array name and Orientation			
Name	Sub-array #1	Order	1
Orient.	Fixed Tilted Plane	Tilt	30°
		Azimuth	0°
Presizing Help			
☐ No sizing		Enter planned power: 105.0 kWp	
☐ or available area(modules)		699 m ²	
Select the PV module			
All modules		Approx. needed modules: 420	
SolarFabrik	250 W/p 25V Si-poly Premium L poly	Until 2016	SolarFabrik 12/201
Sizing voltages: V _{mpp} (60°C) 25.7 V			
V _{oc} (-10°C) 41.8 V			
☐ Use Optimizer			
Select the inverter			
Available Now		50 Hz	
Platinum GmbH (Diehl)		60 Hz	
15 kW	350 - 720 V TL	50 Hz	Platinum 16000 R3-MDX-10 756199
Since 2012			
Nb. of inverters	7	Operating Voltage:	350-720 V
		Global Inverter's power	105 kWac
☐ Use multi-MPPT feature		Input maximum voltage:	900 V
		Inverter with 2 MPPT	
Design the array			
Number of modules and strings			
Mod. in series	15	☐ between 14 and 21	
Nbre strings	28	☐ only possibility 28	
Overload loss	0.0 %	☐ Show sizing	
Pnom ratio	1.00		
Nb. modules	420	Area	699 m ²
Operating conditions:			
V _{mpp} (60°C) 386 V		Plane irradiance 1000 W/m ²	
V _{mpp} (20°C) 462 V		I _{mp} (STC) 232 A	
V _{oc} (-10°C) 627 V		I _{sc} (STC) 248 A	
		Max. operating power at 1000 W/m ² and 50°C 94.0 kW	
		Array nom. Power (STC) 105 kWp	

Şekil 4.22: Modül ve Evirici Seçimlerinin, Dizi Tasarımının Yapıldığı “Sistem” Bölümü (Arazi)

4.2.c) Kayıplar

Sıcaklık Kaybı

Ortalama sıcaklığı yüksek olan bölgelerde kurulan fotovoltaik sistemlerde performansı en çok etkileyen faktördür. PVsyst programında ısı kaybının hesaplanması için kullanılan formül 4.1.c bölümünde anlatılmıştır. U_c parametresinin hangi koşullarda hangi değere karşılık geldiği tarif edilmiştir.

Gölbaşı GES tesisinde otopark bölümünde modüller yerden 3 metre yüksekliktedir. Otopark bölgesine doğru rüzgar estiğinde FV modüller alt yüzeyden rüzgar alabilmektedir. Dolayısıyla $U_c=29 \text{ W/m}^2$ seçilmiştir (Şekil 4.23).

Arazi bölümünde FV modüller 30° açığa sahiptir. Arazi projelerinde modül açısı ne kadar artar ise modülün rüzgar ile teması o kadar artar. Arazi bölümü için $U_c=29 \text{ W/m}^2$ olarak alınmıştır.

Çatı bölümünde FV modüllerin kurulumu çatı üstüne yapılmıştır. Her ne kadar binanın çatısı yerden 10 metre yüksekte de olsa, güvenlik için çatı sınırlarına parapet yapılmıştır. Ayrıca modüller ile beton çatı yüzeyi arasında 15 derece bulunmaktadır. Bu dezavantajlar göz önüne alındığında çatı bölümündeki fotovoltaik sistem için $U_c=20 \text{ W/m}^2$ olarak alınmıştır.

Field Thermal Loss Factor

Thermal Loss factor $U = U_c + U_v \cdot \text{Wind vel}$

Constant loss factor U_c 20.0 W/m²K ?

Wind loss factor U_v 0.0 W/m²K / m/s

Default value acc. to mounting

☐ "Free" mounted modules with air circulation
☒ Semi-integrated with air duct behind
☐ Integration with fully insulated back

Field Thermal Loss Factor

Thermal Loss factor $U = U_c + U_v \cdot \text{Wind vel}$

Constant loss factor U_c 29.0 W/m²K ?

Wind loss factor U_v 0.0 W/m²K / m/s

Default value acc. to mounting

☒ "Free" mounted modules with air circulation
☐ Semi-integrated with air duct behind
☐ Integration with fully insulated back

Şekil 4.23: PVsyst Sıcaklık Kaybı Bölümü (solda çatı, sağda otopark ve arazi)

DC Omik Kayıp

Modül ve evirici arasında bağlantıyı sağlayan DC kabloların enerji varken akıma gösterdiği direnç sebebiyle oluşan kayıplardır. Gölbaşı GES tesisi için “Saha Verilerinin İncelenmesi” bölümünde %0,54 olarak hesaplanmıştır. PVsyst programında eğer bütün kabloların toplam direnci ya da kayıp miktarı biliniyorsa Omik Kayıp bölümünde doğrudan değerler girilebilmektedir. Şekil 4.24’te DC Omik Kayıp bölümü parametrelerinin girildiği arayüze yer verilmiştir. Arayüzde toplam direnç değeri, STK’da kayıp oranı görülmektedir.

DC circuit: ohmic losses for the array

Specified by

☒ Global wiring resistance 28.2 mOhm ☒ Calculated

☐ Loss fraction at STC 1.04 % ☐ Default

Voltage Drop across series diode 0.0 V ☐ Default

DC circuit: ohmic losses for the array

Specified by

☒ Global wiring resistance 90.9 mOhm ☒ Calculated

☐ Loss fraction at STC 0.67 % ☒ Default

Voltage Drop across series diode 0.0 V ☐ Default

DC circuit: ohmic losses for the subfield

Specified by

☒ Global wiring resistance mOhm ☒ Calculated

☐ Loss fraction at STC ☐ Default

Voltage Drop across series diode V ☐ Default

Şekil 4.24: PVsyst Omik Kayıp (Sol üstte Çatı, Sağ Üstte Otopark ve Altta Arazi Bölümü)

Dizi Uyuşmazlığı Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Modül Kalitesi

PVsyst de ise “Dizi Uyuşmazlığı Kaybı => Detaylı hesaplamalar” bölümünde modüller için akım ve gerilim değerlerinin farklı olduğu 1000 adet senaryoda uyumsuzluk kaybı hesaplanmış ve histogram oluşturulmuştur. Histogramda uyumsuzluk değerlerinin ortalaması %2,2’dir (Şekil 4.25 - Şekil 4.26).

Işık Eşlikli Bozulma değeri PVsyst programında Solar Fabrik modül kataloğunda yer almaktadır ve 3% olarak alınmıştır. FV modül kataloğunda yer alan pozitif performans toleransı, PVsyst programında modül kalitesi değeri olarak girilmiştir.

Module quality default

Module efficiency loss % ☒

Deviation of the average effective module efficiency by respect to manufacturer specifications. 

(negative value indicates over-performance)

LID - Light Induced Degradation default

LID loss factor % ☐

Degradation of crystalline silicon modules, in the first operating hours by respect to the manufacturing flash test STC values. 

Modules mismatch losses default

Power Loss at MPP % ☐

Loss when running at fixed voltage % ☐

Not relevant when MPPT operation

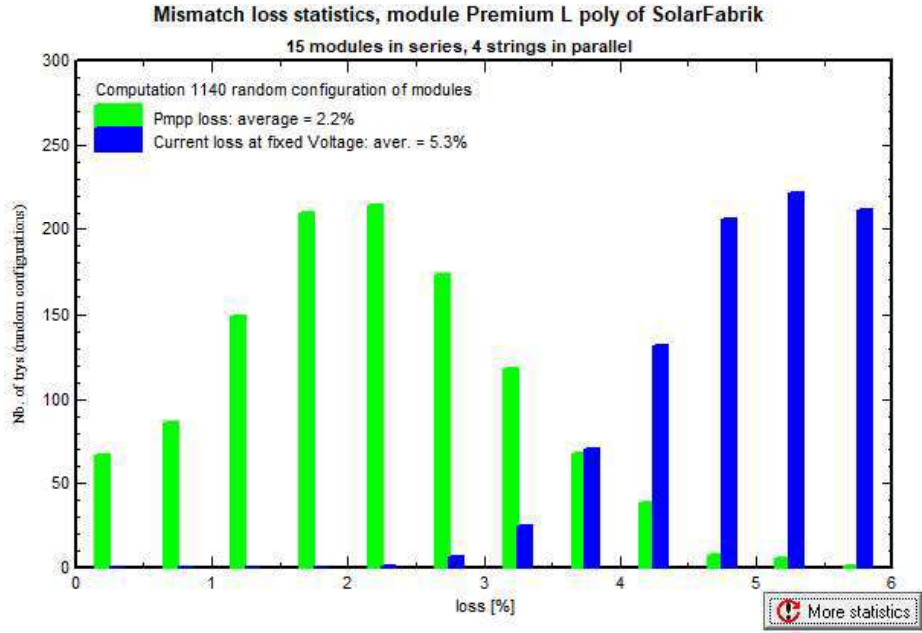
 **Detailed computation** 

Strings voltage mismatch Default

Power Loss at MPP % ☐

 **Detailed study** 

Şekil 4.25: Dizi Uyuşmazlığı Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Modül Kalitesi (Çatı ve Otopark)



Şekil 4.26: Dizi Uyuşmazlığı Kaybı Histogram (Çatı ve Otopark)

Tozlanma Kaybı

PVsyst programında tozlanma kaybı yıllık olarak girilebilmektedir. Kaybın hesaplanabilmesi için düzenli temizlenen ve hiç temizlenmeyen özdeş modüllerin karşılaştırılması yapılmalıdır. Gölbaşı GES tesisinde böyle bir düzenek bulunmadığı için Kesim 3.2.3'te yer alan çalışmalardaki formüller ile aylık tozlanma kaybı oranları hesaplanmıştır (Şekil 4.27). Tozlanma kaybı yıllık ortalama değeri %6,3'tür.

Monthly soiling values

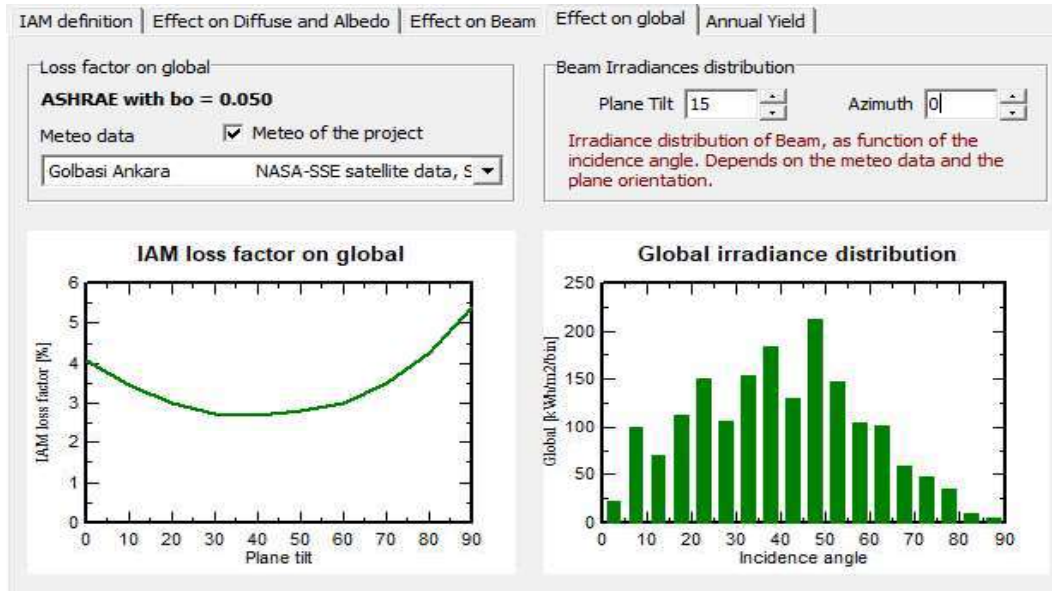
Jan.	6.1	%	July	6.1	%
Feb.	4.7	%	Aug.	9.7	%
Mar.	3.5	%	Sep.	9.4	%
Apr.	4.1	%	Oct.	8.1	%
May	4.8	%	Nov.	4.7	%
June	6.0	%	Dec.	6.2	%

☒ Set all as year

Şekil 4.27: Tozlanma Kaybı Aylık Ortalama Değerler

Yansıma Kaybı

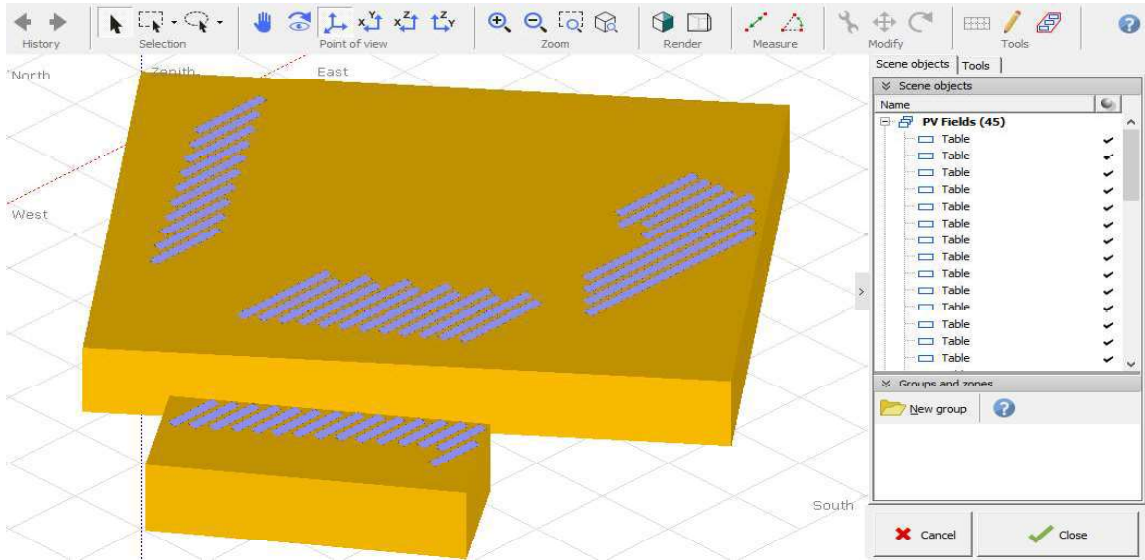
FV modül yüzeyinden, EVA malzemesinden ve güneş gözesinden yansıyan güneş ışınları sonucunda oluşan kayıptır. Kesim 3.2.3'te, ASHRAE metodu ile hesaplandığı anlatılmıştır. PVsyst programında da aynı metod kullanılmıştır (Şekil 4.28). Simülasyon sonuçlarında Gölbaşı GES çatı bölümünde yıllık Yansıma Kaybı değeri %3.2, otopark bölümünde %3.3 ve arazi bölümünde ise %2.7'dir.



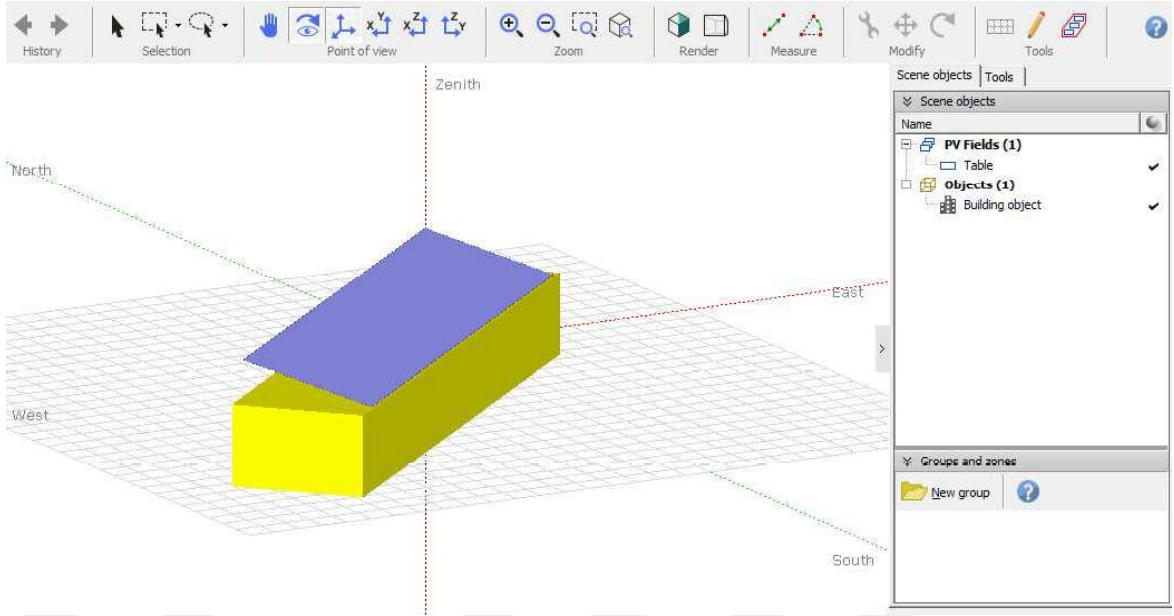
Şekil 4.28: PVsyst Yansima Kaybı Metod Seçme Bölümü

Gölge Analizi

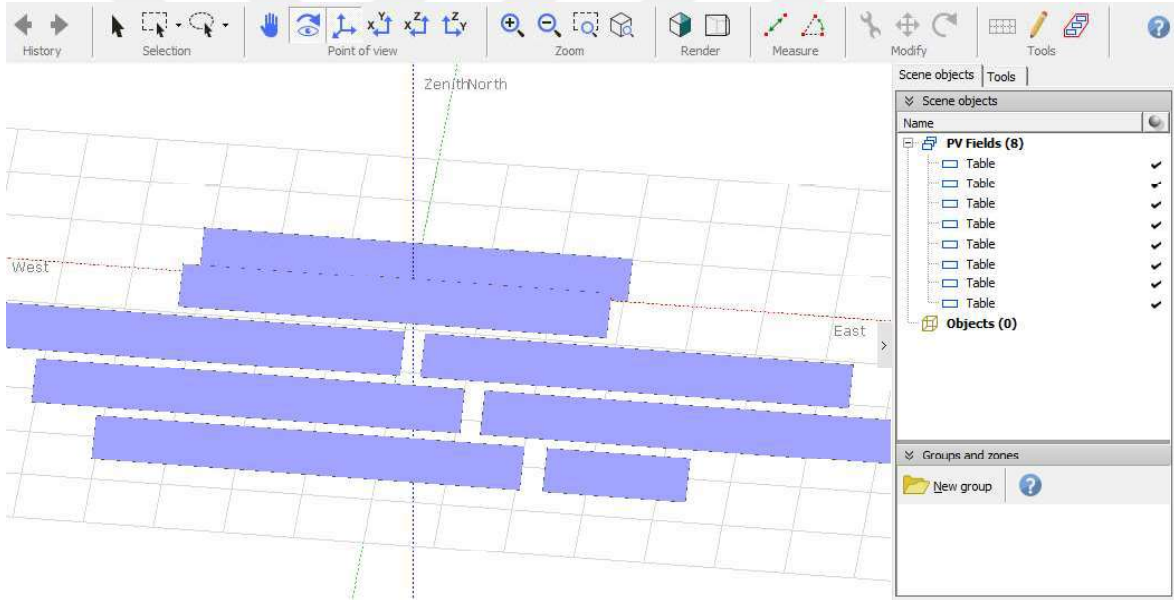
Gölbaşı GES tesisi için 3 boyutlu tasarım bölümünde binanın, FV modül sehpalarının ve modüllerin temsili çizimi Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'dedir. Modüllerin çatı bölümünde kapladığı alan 3823 m²'dir. FV modül sehpalarının kapladığı alan modüller arasında dikey ve yatayda 2'şer cm boşluk olmasından ötürü 3945 m² olmaktadır. Otopark bölümünde FV modüllerin toplam yüzey alanı 100 m², FV modül sehпасının kapladığı alan 103 m²'dir. Arazi bölümünde ise modüllerin toplam yüzeyi 732 m², modül sehpalarının kapladığı ise 756 m²'dir.



Şekil 4.29: PVsyst 3 Boyutlu Tasarım (Çatı Bölümü)



Şekil 4.30: PVsyst 3 Boyutlu Tasarım (Otopark Bölümü)



Şekil 4.31: PVsyst 3 Boyutlu Tasarım (Arazi Bölümü)

Modül yerleşimi yapıldığı için “FV modül Yerleşimine Göre Detaylı Simülasyon” seçeneği seçilmiştir. Çizelgelere göre otopark bölümünde yıllık gölge kaybı %0.1, çatı bölümünde %0.7 ve arazi bölümünde %3.4’tür. Arazi bölümündeki kaybın fazla olmasının nedeni kampüs içerisindeki arazide FV modül yerleşimine ayrılan yerin yeterli olmamasından dolayı modül sehpaları arasındaki gölge mesafesi standardın altında olmasıdır. Modül sehpalarının kuzeydeki modül sehpalarına yıl içerisinde olması gerekenden fazla miktarda gölge yapmakta ve bu da daha fazla enerji kaybına sebep olmaktadır (Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5).

Çizelge 4.3: Güneş Açılarına Göre Gölgeleme Faktörü Tablosu (Çatı Bölümü)

Azimuth	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
Height																			
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.116	0.188	0.209	0.186	0.113	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2°	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.087	0.431	0.580	0.616	0.621	0.602	0.554	0.440	0.094	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Shading factor for diffuse: 0.016 and for albedo: 0.569

Çizelge 4.4: Güneş Açılarına Göre Gölgeleme Faktörü Tablosu (Otopark Bölümü)

Azimuth	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
Height																			
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2°	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

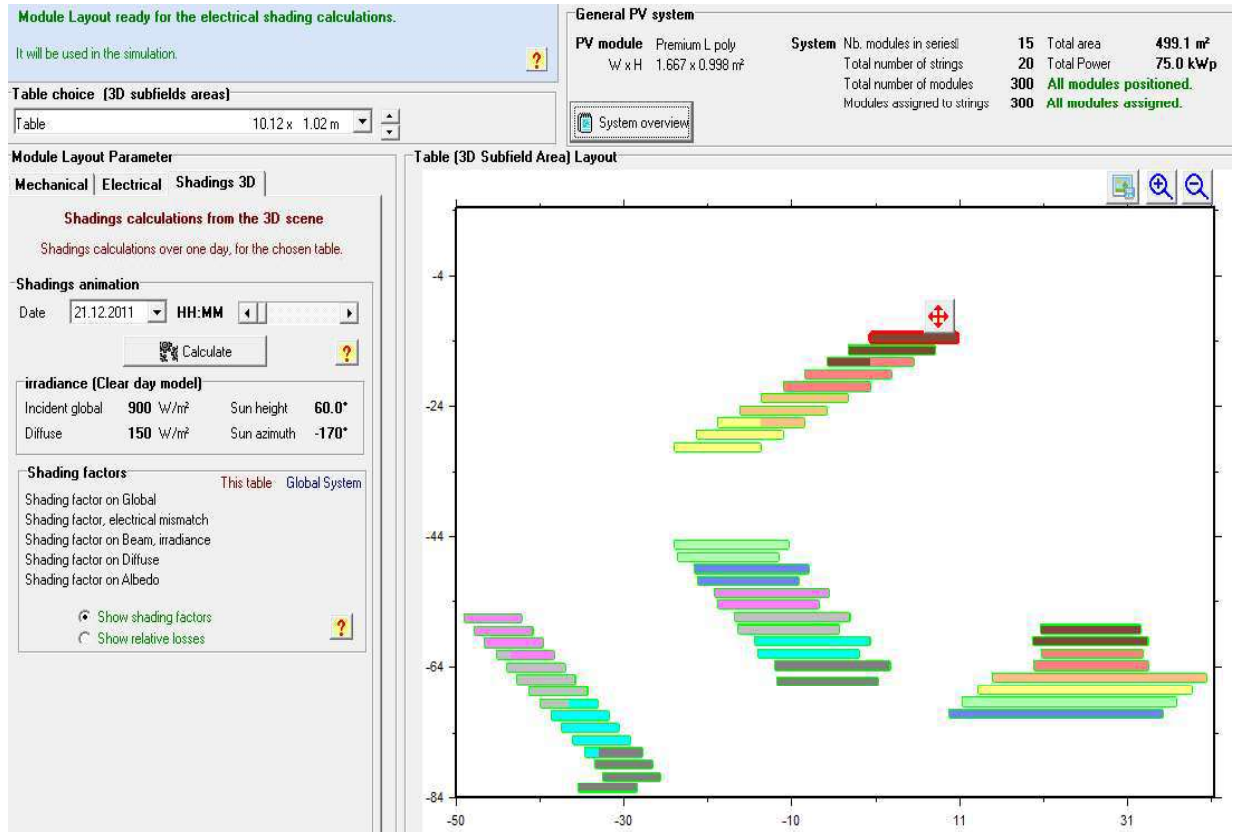
Shading factor for diffuse: 0.000 and for albedo: 0.000

Çizelge 4.5: Güneş Açılarına Göre Gölgeleme Faktörü Tablosu (Arazi Bölümü)

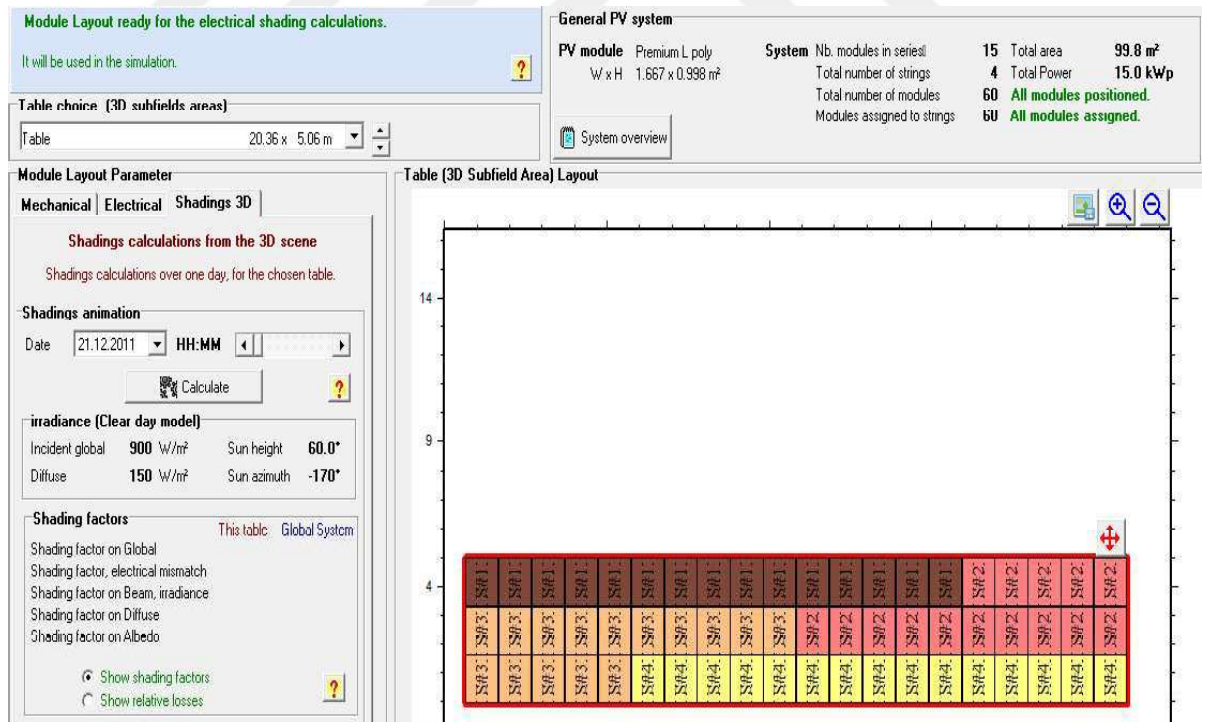
Azimuth	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
Height																			
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
20°	1.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.007	0.075	0.098	0.075	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
10°	Behind	Behind	Behind	0.002	0.002	0.000	0.104	0.253	0.312	0.329	0.310	0.243	0.102	0.000	0.000	0.000	Behind	Behind	Behind
2°	Behind	Behind	Behind	Behind	0.004	0.149	0.494	0.601	0.614	0.612	0.598	0.565	0.477	0.159	0.000	Behind	Behind	Behind	Behind

Shading factor for diffuse: 0.042 and for albedo: 0.576

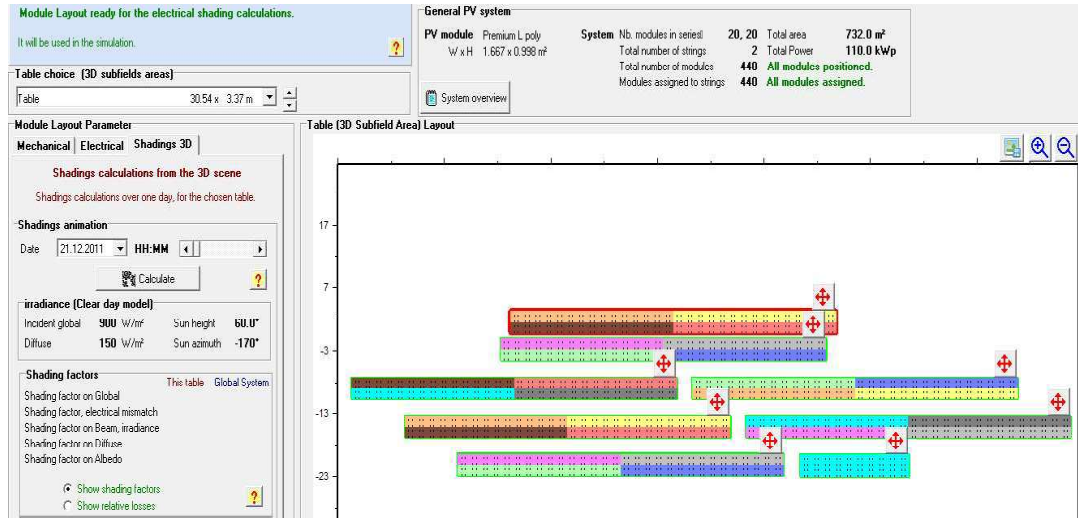
“FV Modül Yerleşimi” bölümünde 152 adet dizinin yerleri belirlenmiştir. Bu bölümde mekanik ve elektriksel yerleşimi tamamladıktan sonra dizileri atanmış fotovoltaiik sistem üzerinden gölge simülasyonu yapılabilmektedir (Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33).



Şekil 4.32: PVsyst FV Modül Yerleşimi (Çatı)



Şekil 4.33: PVsyst FV Modül Yerleşimi (Otopark)



Şekil 4.34: PVsyst FV modül Yerleşimi (Arazi)

4.2.d) Simülasyon Sonuçları

Ana Sonuç Tablosu

PVsyst simülasyonundan Gölbaşı GES tesisi çatı bölümü için aylık ve yıllık elektriksel ve performans değerlerini elde etmek mümkündür. Simülasyon sonuçlarına göre FV modüllerin yüzeyine gelen ışınlam miktarı yıllık 1785,3 kWh/m², eviricilerde toplam elde edilen yıllık AC enerji ise 104,38 MWh'tir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6: PVsyst Ana Sonuç Tablosu (Çatı)

	GlobHor	DiffHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh
Ocak	63.9	26.00	-1.19	86.1	77.1	5583	5493
Şubat	80.4	32.30	5.37	100.8	91.8	6401	6301
Mart	126.5	46.80	6.40	146.4	135.8	9304	9159
Nisan	145.5	58.20	7.43	156.6	144.2	9823	9672
Mayıs	187.2	64.20	15.41	190.9	175.0	11327	11151
Haziran	206.7	58.50	16.58	206.2	186.8	12023	11838
Temmuz	222.0	55.80	22.55	223.6	202.3	12678	12483
Ağustos	193.8	50.20	22.88	206.2	179.9	11300	11125
Eylül	152.1	40.80	21.84	172.3	150.6	9537	9390
Ekim	107.3	35.60	12.80	131.6	116.0	7738	7617
Kasım	69.3	27.30	7.48	92.5	83.8	5753	5662
Aralık	52.7	23.90	-1.60	72.2	64.0	4565	4489
Year	1607.4	519.60	11.36	1785.3	1607.4	106032	104381

PVsyst simülasyonundan Gölbaşı GES tesisi otopark bölümü için aylık ve yıllık elektriksel ve performans değerlerini elde etmek mümkündür. Simülasyon sonuçlarına

göre FV modüllerin yüzeyine gelen ışınlm miktarı yıllık 1736,7 kWh/m², eviricilerde toplam elde edilen yıllık AC enerji ise 20,98 MWh'tir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7: PVsyst Ana Sonuç Tablosu (Otopark)

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh
Ocak	63.9	26.00	-1.19	79.9	71.7	1061	1034
Şubat	80.4	32.30	5.37	95.7	86.2	1237	1206
Mart	126.5	46.80	6.40	140.0	127.0	1799	1754
Nisan	145.5	58.20	7.43	153.2	139.4	1963	1913
Mayıs	187.2	64.20	15.41	190.3	173.4	2336	2277
Haziran	206.7	58.50	16.58	206.7	188.6	2525	2461
Temmuz	222.0	55.80	22.55	224.2	204.5	2669	2602
Ağustos	193.8	50.20	22.88	202.9	185.3	2412	2351
Eylül	152.1	40.80	21.84	167.3	152.4	1999	1949
Ekim	107.3	35.60	12.80	124.8	113.0	1553	1514
Kasım	69.3	27.30	7.48	86.1	77.2	1102	1074
Aralık	52.7	23.90	-1.60	65.6	58.5	866	843
Year	1607.4	519.60	11.36	1736.7	1577.1	21522	20977

PVsyst simülasyonundan Gölbaşı GES tesisi arazi bölümü için aylık ve yıllık elektriksel ve performans değerlerini elde etmek mümkündür. Simülasyon sonuçlarına göre FV modüllerin yüzeyine gelen ışınlm miktarı yıllık 1867,3 kWh/m², eviricilerde toplam elde edilen yıllık AC enerji ise 159,7 MWh'tir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8: PVsyst Ana Sonuç Tablosu (Arazi)

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh
Ocak	63.9	26.00	-1.19	103.5	91.7	9329	9176
Şubat	80.4	32.30	5.37	115.7	103.2	10663	10496
Mart	126.5	46.80	6.40	158.2	141.6	14606	14376
Nisan	145.5	58.20	7.43	159.4	141.6	14570	14343
Mayıs	187.2	64.20	15.41	184.6	164.2	16203	15947
Haziran	206.7	58.50	16.58	195.5	174.0	17093	16827
Temmuz	222.0	55.80	22.55	214.0	191.0	18269	17984
Ağustos	193.8	50.20	22.88	207.1	185.3	17634	17359
Eylül	152.1	40.80	21.84	182.7	163.9	15668	15426
Ekim	107.3	35.60	12.80	148.4	133.1	13259	13052
Kasım	69.3	27.30	7.48	110.5	97.7	9655	9501
Aralık	52.7	23.90	-1.60	87.7	76.2	7324	7202
Year	1607.4	519.60	11.36	1867.3	1663.5	164273	161690

Performans Parametreleri Çizelgesi

Gölbaşı GES tesisi çatı bölümüne ait Çizelge 4.9'a göre en düşük performans oranı Ağustos ayında, en yüksek performans oranı Ocak ayında gözlenmektedir. Çizelgedeki

parametreler Kesim 4.1.c’de Yıllık performans oranı ise %78’dir. Çatıdaki fotovoltaik sistemin dizi kazancı ortalama 3,87 kWh/kW_p/gün, fotovoltaik final kazancı ise 3,81 kWh/kW_p/gün’dür. Referans kazancından, dizi kazancına dönüşüm sırasında oluşan kayıp en fazla Ağustos ayında meydana gelmiştir.

Çizelge 4.9: PVsyst Performans Parametreleri (Çatı)

	Yr	Lc	Ya	Ls	Yf	Lcr	Lsr	PR
	kWh/m ² .day		kWh/kW _p /d		kWh/kW _p /d			
Ocak	2.78	0.376	2.40	0.039	2.36	0.135	0.014	0.851
Şubat	3.60	0.552	3.05	0.048	3.00	0.153	0.013	0.833
Marl	4.72	0.720	4.00	0.062	3.94	0.153	0.013	0.834
Nisan	5.22	0.855	4.37	0.067	4.30	0.164	0.013	0.823
Mayıs	6.16	1.287	4.87	0.076	4.80	0.209	0.012	0.779
Haziran	6.87	1.529	5.34	0.082	5.26	0.222	0.012	0.766
Temmuz	7.21	1.759	5.45	0.084	5.37	0.244	0.012	0.744
Ağustos	6.65	1.791	4.86	0.075	4.78	0.269	0.011	0.719
Eylül	5.74	1.506	4.24	0.065	4.17	0.262	0.011	0.726
Ekim	4.24	0.916	3.33	0.052	3.28	0.216	0.012	0.772
Kasım	3.08	0.526	2.56	0.040	2.52	0.171	0.013	0.816
Aralık	2.33	0.365	1.96	0.033	1.93	0.157	0.014	0.829
Year	4.89	1.018	3.87	0.060	3.81	0.208	0.012	0.780

Gölbaşı GES tesisi otopark bölümüne ait Çizelge 4.10’a göre en düşük performans oranı Ağustos ayında, en yüksek performans oranı Ocak ayında gözlenmektedir. Yıllık performans oranı ise %80,5’tir. Otoparktaki fotovoltaik sistemin dizi kazancı ortalama 3,93 kWh/kW_p/gün, fotovoltaik final kazancı ise 3,83 kWh/kW_p/gün’dür. Referans kazancından, dizi kazancına dönüşüm sırasında oluşan kayıp en fazla Temmuz ayında meydana gelmiştir.

Çizelge 4.10: PVsyst Performans Parametreleri (Otopark)

	Yr	Lc	Ya	Ls	Yf	Lcr	Lsr	PR
	kWh/m ² .day		kWh/kW _p /d		kWh/kW _p /d			
Ocak	2.58	0.295	2.28	0.059	2.22	0.115	0.023	0.863
Şubat	3.42	0.471	2.95	0.074	2.87	0.138	0.022	0.840
Mart	4.52	0.646	3.87	0.097	3.77	0.143	0.022	0.835
Nisan	5.11	0.746	4.36	0.110	4.25	0.146	0.022	0.832
Mayıs	6.14	1.115	5.02	0.127	4.90	0.182	0.021	0.798
Haziran	6.89	1.281	5.61	0.142	5.47	0.186	0.021	0.794
Temmuz	7.23	1.492	5.74	0.145	5.59	0.206	0.020	0.774
Ağustos	6.54	1.357	5.19	0.131	5.06	0.207	0.020	0.773
Eylül	5.58	1.135	4.44	0.112	4.33	0.203	0.020	0.776
Ekim	4.03	0.686	3.34	0.084	3.26	0.170	0.021	0.809
Kasım	2.87	0.423	2.45	0.062	2.39	0.147	0.022	0.831
Aralık	2.12	0.254	1.86	0.050	1.81	0.120	0.023	0.857
Year	4.76	0.827	3.93	0.100	3.83	0.174	0.021	0.805

Gölbaşı GES tesisi arazi bölümüne ait Çizelge 4.11'e göre en düşük performans oranı Aralık ayında, en yüksek performans oranı Mart ayında gözlenmiştir. Yıllık performans oranı ise %78,7'dir. Arazideki fotovoltaik sistemin dizi kazancı ortalama 4,09 kWh/kW_p/gün, fotovoltaik final kazancı ise 4,03 kWh/kW_p/gün'dür. Referans kazancından, dizi kazancına dönüşüm sırasında oluşan kayıp en fazla Temmuz ayında meydana gelmiştir.

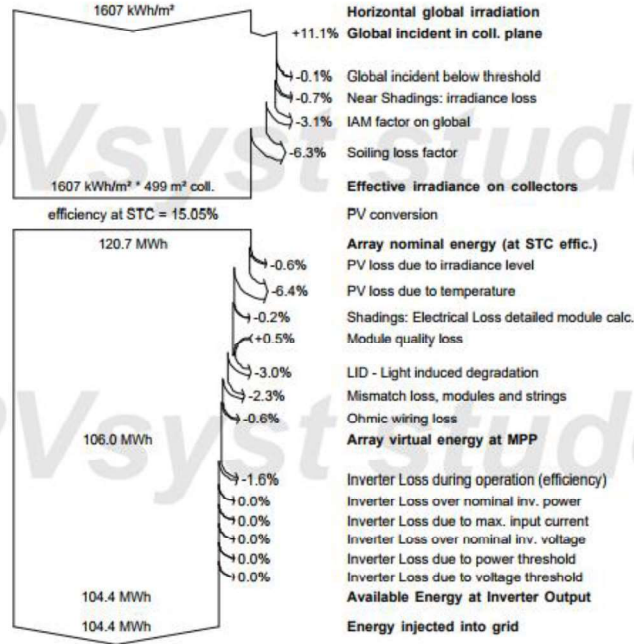
Çizelge 4.11: PVsyst Performans Parametreleri (Arazi)

	Yr	Lc	Ya	Ls	Yf	Lcr	Lsr	PR
	kWh/m ² .day		kWh/kW _p /d		kWh/kW _p /d			
Ocak	3.34	0.604	2.74	0.045	2.69	0.181	0.013	0.806
Şubat	4.13	0.669	3.46	0.054	3.41	0.162	0.013	0.825
Mart	5.10	0.819	4.28	0.067	4.22	0.161	0.013	0.826
Nisan	5.31	0.897	4.42	0.069	4.35	0.169	0.013	0.818
Mayıs	5.95	1.202	4.75	0.075	4.68	0.202	0.013	0.786
Haziran	6.52	1.336	5.18	0.081	5.10	0.205	0.012	0.783
Temmuz	6.90	1.547	5.36	0.084	5.27	0.224	0.012	0.764
Ağustos	6.68	1.509	5.17	0.081	5.09	0.226	0.012	0.762
Eylül	6.09	1.343	4.75	0.073	4.67	0.220	0.012	0.768
Ekim	4.79	0.899	3.89	0.061	3.83	0.188	0.013	0.800
Kasım	3.68	0.758	2.93	0.047	2.88	0.206	0.013	0.782
Aralık	2.83	0.683	2.15	0.036	2.11	0.241	0.013	0.746
Year	5.12	1.024	4.09	0.064	4.03	0.200	0.013	0.787

Kayıp Şeması

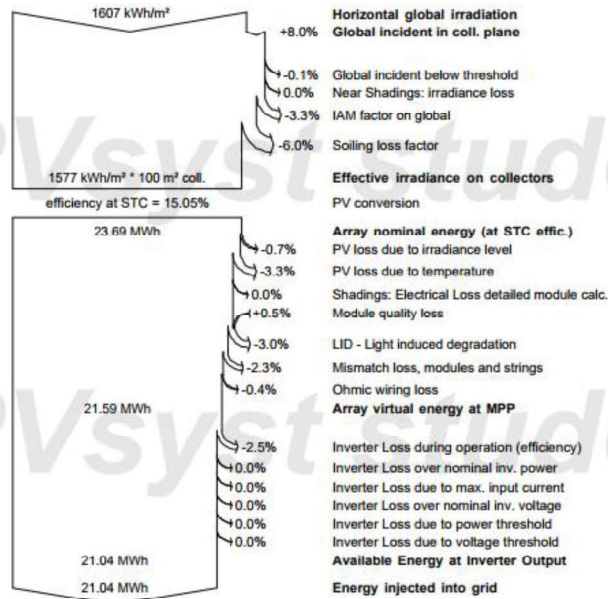
Gölbaşı GES tesisi çatı bölümünde PVsyst sonuçlarına göre en fazla kaybın sıcaklıktan olduğu görülmektedir (Şekil 4.35). Sıcaklık kaybını etkinlik açısından sırasıyla Tozlanma Kaybı, Yansıma Kaybı, Işık Eşlikli Bozulma ve Dizi Uyuşmazlığı Kaybı izlemektedir. Gölbaşı GES tesisinde FV modül üzerine yıl boyunca düşen 801,89 MWh değerinde ışıınım enerjisi, elektrik enerjisine çevrildikten sonra 120,7 MWh değerine düşmektedir. DC kayıplar sonrasında 106 MWh, evirici içerisinde DC-AC çevrimi sonrasında evirici çıkışında kullanılabilir 104,4 MWh enerji bulunmaktadır.

Loss diagram over the whole year



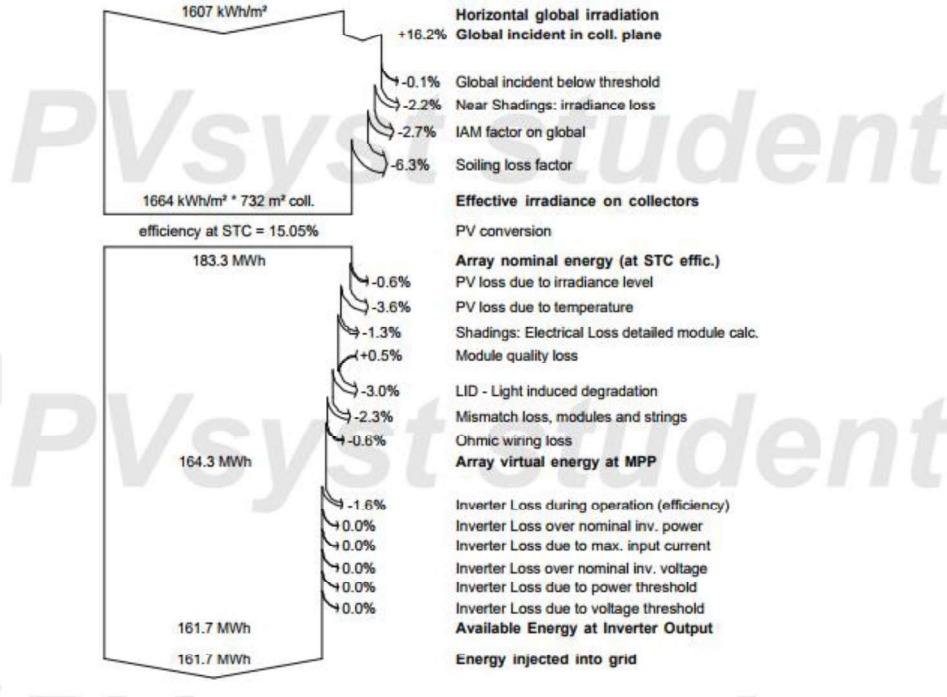
Şekil 4.35: PVsyst Torbalı GES Kayıp Yüzdeleri (Çatı)

Gölbaşı GES tesisi otopark bölümünde PVsyst sonuçlarına göre en fazla kaybın tozlanmadan olduğu görülmektedir (Şekil 4.36). Santralde FV modüller üzerine yıl boyunca düşen 157,7 MWh değerinde ışıınım enerjisi, elektrik enerjisine çevrildikten sonra 23,69 MWh değerine düşmektedir. DC kayıplar sonrasında 21,59 MWh, evirici içerisinde DC-AC çevrimi sonrasında evirici çıkışında kullanılabilir 21,04 MWh enerji bulunmaktadır.



Şekil 4.36: PVsyst Torbalı GES Kayıp Yüzdeleri (Otopark)

Şekil 4.37’de Gölbaşı GES tesisi arazi bölümündeki fotovoltaik sistemde oluşan kayıp değerleri verilmiştir. Üretimde en fazla kayba neden olan faktör tozlanma kaybı, ikinci etkili faktör ise sıcaklıktır. Torbalı GES tesisinde modül üzerine yıl boyunca düşen 1218,05 MWh değerinde ışıınım enerjisi, elektrik enerjisine çevrildikten sonra 183,3 MWh değerine düşmektedir. DC kayıplar sonrasında 164,3 MWh, evirici içerisinde DC-AC çevrimi sonrasında evirici çıkışında kullanılabilir 161,7 MWh enerji bulunmaktadır.



Şekil 4.37: PVsyst Torbalı GES Kayıp Yüzdeleri (Arazi)

5. DEĞERLENDİRME

• Torbalı GES Saha Verileri ve Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Fotovoltaik modüllere gelen Sandia Ulusal Laboratuvarı'nın çalışmasında yer alan eşitlik ve simülasyon ile hesaplanan aylık ve yıllık ışıınım miktarları (POAI) birbirine yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 5.1). Yıllık ışıınım değerleri arasında 5 kWh/m² fark bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre Torbalı GES tesisi modüllerine düşen aylık ışıınım miktarı en fazla Temmuz ayında, en az Aralık ayında gözlenmiştir.

Simülasyon ve saha sonuçlarındaki evirici AC üretim değerleri incelendiğinde, yıllık ve aylık değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En fazla enerji üretimi aylık olarak Temmuz ayında, en az Aralık ve Ocak aylarında olmuştur.

Yıllık performans oranı değerleri arasında sadece %0,2'lik bir fark bulunmaktadır. Aylık performans oranı değerleri arasındaki farklılıkların sebebi saha performans değerlerini hesaplamak için kullanılan ışıınım değerlerinin sahada bulunan piranometre gibi bir cihaz ile elde edilebilecek verilerden olmayıp NASA uydusu tarafından kaydedilen ortalama ışıınım değerleri olmasıdır. Yıllık olarak bakıldığında sahadaki piranometre ile ölçülecek gerçek değerler ile NASA veritabanından elde edilen ortalama değerler arasında bir fark olmamasına karşın, iki veri kaynağından alınan aylık ışıınım değerleri arasında fark oluşabilmektedir. Performans değerlerinin sıcaklıkla orantılı olduğu PVsyst sonuçları incelendiğinde görülmektedir. Saha sonuçlarına baktığımızda özellikle Nisan ve Aralık aylarının performans değerlerinin, ortalama ışıınım değerleri kullanıldığı için %90 gibi yüksek bir değer üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1: Sandia, Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri

POAI (kWh/m2)	Sandia	PVsyst	AC Enerji (MWh)	Saha	PVsyst	PR (%)	IEC 61724	PVsyst
Ocak	79,6	84,8	Ocak	36,058	42,4	Ocak	76,4	84,4
Şubat	91,4	93,7	Şubat	43,437	46,6	Şubat	80,1	83,9
Mart	142,6	146,2	Mart	58,109	71,9	Mart	68,7	83
Nisan	165,0	164,7	Nisan	89,935	80,1	Nisan	91,9	82,1
Mayıs	211,5	208,3	Mayıs	101,692	96,2	Mayıs	81,1	77,9
Haziran	233,8	227,3	Haziran	102,413	103,3	Haziran	73,9	76,6
Temmuz	243,1	237,4	Temmuz	110,65	104,4	Temmuz	76,8	74,2
Ağustos	219,7	216,7	Ağustos	95,425	93,5	Ağustos	73,3	72,8
Eylül	177,8	178,5	Eylül	72,587	76,1	Eylül	68,8	71,9
Ekim	131,7	135,2	Ekim	59,609	61,6	Ekim	76,3	76,9
Kasım	84,0	88,5	Kasım	41,939	40,8	Kasım	84,2	77,8
Aralık	66,2	70,2	Aralık	36,95	31,8	Aralık	94,1	76,4
	1846,5	1851,5		848,8	848,7		77,5	77,3

Modülün açısı fotovoltaik sistemlerde enerji üretimini etkileyen faktörlerden biridir. Torbalı GES'te FV modüllerin açısı 12°'dir ve ilk yıl sonunda üretilen enerji simülasyona göre 848,7 MWh'tir. Türkiye'deki fotovoltaik sistem projelerinde optimum açı 30° olarak alınmaktadır. Arazi sistemlerinde FV modülün açısı optimum açı olarak seçilir. Eğimli çatı sistemlerinde ise konstrüksiyon maliyetinin artmaması için FV modülleri çatıya hemyüz olarak montaj edilir ve FV modülün eğimi çatının eğimine eşit olur.

Çizelge 5.2'de PVSyst simülasyonunda FV modül açısının 12°, 15°, 20° ve 25°'de olduğu durumlarda enerji üretim değerleri ve yıl sonunda açının değişmesi durumunda elde edilen kâr yer almaktadır. Çatının 15° eğime sahip olması durumunda 1263,5 \$, 20° eğime sahip olması durumunda 2753 \$, 25° olması durumunda ise 7807,1 \$ ilk yıl sonunda kar elde edilecektir. Ancak fotovoltaik sistem tasarımında bu eğimlerin olduğu bir konstrüksiyon sisteminin maliyeti fazla olabilmekte ve sistem amorti süresini arttırabilmektedir. Dolayısıyla, fotovoltaik sistem tasarımı yapılırken konstrüksiyon maliyetinin de hesaba katılması gerekmektedir.

Çizelge 5.2: Torbalı GES Tesisinin Simülasyonda FV modül Açısına Göre Üretim Değerleri

Torbalı GES				
FV modül Açısı	12	15	20	25
AC Enerji (MWh)	848,7	858,2	869,4	907,4
Artış (%)	1,1	2,4	6,9	
Artış (\$)	1263,5	2753,1	7807,1	

Performansa en fazla etki eden faktör sıcaklık faktörüdür. Çizelge 5.3'te ısı kayıp değerlerinin Rauschenbach ve Chenni'nin çalışmalarında yer alan formüller ile hesaplanan, PVSyst simülasyonundan elde edilen aylık ve yıllık ısı kayıp değerleri ve PVSyst Performans Oranı değerleri yer almaktadır. Simülasyon, Chenni ve Rauschenbach'ın yıllık ısı kayıp değerleri birbirine yakın olduğu, bunun yanında, performans oranı değerlerinin ısı kayıp değerleri ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

Kış aylarında önemli verim kaybı sebeplerinden biri olan ortam sıcaklığı düşük olduğu için modüller verimli çalışmakta ve performans oranı artmaktadır. Ortalama sıcaklık arttıkça güneş gözelerinin sıcaklıkları artmakta ve performans kaybına yol açmaktadır. En fazla kayıp Ağustos ayında meydana gelmiştir.

Çizelge 5.3: Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre Sıcaklık Kaybı ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri

	Ltem (%-Rauschenbach)	Ltem (%-Chenni)	PVsyst	PVsyst PR
Ocak	5,21	6,79	-	84,40
Şubat	5,79	7,46	-	83,90
Mart	6,94	8,27	-	83,00
Nisan	7,49	9,36	-	82,10
Mayıs	10,80	12,25	-	77,90
Haziran	12,00	13,23	-	76,60
Temmuz	13,73	14,94	-	74,20
Ağustos	13,93	15,08	-	72,80
Eylül	12,58	13,73	-	71,90
Ekim	10,05	11,46	-	76,90
Kasım	7,81	9,52	-	77,80
Aralık	4,33	6,60	-	76,40
Yıllık	9,22	10,72	9,30	

Çizelge 5.4'te saha verilerinden teorik formüller ve simülasyondan elde edilen kayıp faktörleri yer almaktadır. Sıcaklık ve tozlanma kayıpları sistem performansına en çok etkisi olan faktörlerdir. Tozlanma değerlerinin aynı olmasının nedeni, PVsyst programından elle girilmesidir.

Çizelge 5.4: Saha Verileri ve PVsyst Sonuçlarına Göre Yıllık Kayıp Faktörleri

	Teorik (%)	PVsyst (%)
Sıcaklık	9,22	9,30
Tozlanma	4,10	4,10
IAM Loss	2,67	3,20
Uyuşmazlık Kaybı	2,66	2,30
Omik Kayıp	1,47	1,50
Evirici Kaybı	2,10	1,50

- Gölbaşı GES Saha Verileri ve Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Gölbaşı GES tesisi bölümlerinde, FV modüle gelen simülasyon ve Lave'nin çalışmasındaki denklem ile hesaplanan aylık ve yıllık ışıınım miktarları (POAI) birbirine yakındır. Yıllık ışıınım değerleri arasında çatıda 7 kWh/m², arazide 4 kWh/m² ve otoparkta 3 kWh/m² fark bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre tesiste FV modüllere düşen aylık ışıınım miktarı en fazla 2015 yılının Temmuz ayında, en az Aralık ayında gözlenmiştir (Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7).

Tesiste eviricilerden elde edilen AC enerji değerleri ve simülasyon sonucu elde edilen AC enerji değerleri karşılaştırıldığında, aylık ve yıllık değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En yüksek üretim değeri Temmuz ayında, en düşük üretim değeri Ocak ve Aralık aylarında görülmektedir.

Performans Oranı değerleri incelendiğinde aylık değerler bazında bazı ayların simülasyon ve saha performans oranlarının arasında önemli kabul edilebilecek farklılıkların olduğu, yıllık performans oranı değerlerinin ise birbirine yakın olduğu görülmektedir. PVsyst simülasyonu sonuçlarında, kış aylarındaki performans değeri daha yüksek olması beklenirken, diğer aylara göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Çatı ve otopark bölgelerindeki performans oranları incelendiğinde sıcaklık düştükçe performans oranı artarken, arazi bölümündeki sistemde böyle bir durum söz konusu değildir. Bunun sebebi kış aylarında modül sehpalarına düşen gölgelerin enerji üretimini düşürmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.5: Sandia, Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri (Gölbaşı Çatı)

POAI (kWh/m ²)	Sandia	PVsyst	AC Enerji (MWh)	Saha	PVsyst	PR (%)	IEC 61724	PVsyst
Ocak	80,6	86,1	Ocak	3,8	5,5	Ocak	62,8	85,1
Şubat	96,0	100,8	Şubat	6,1	6,3	Şubat	84,4	83,3
Mart	143,3	146,4	Mart	8,7	9,2	Mart	80,7	83,4
Nisan	155,9	156,6	Nisan	10,6	9,7	Nisan	90,7	82,3
Mayıs	195,8	190,9	Mayıs	11,1	11,2	Mayıs	75,3	77,9
Haziran	213,8	206,2	Haziran	9,6	11,8	Haziran	59,7	76,6
Temmuz	231,7	223,6	Temmuz	12,9	12,5	Temmuz	74,1	74,4
Ağustos	208,4	206,2	Ağustos	11,5	11,1	Ağustos	73,7	71,9
Eylül	171,8	172,3	Eylül	9,6	9,4	Eylül	74,4	72,6
Ekim	127,6	131,6	Ekim	7,3	7,6	Ekim	76,5	77,2
Kasım	86,5	92,5	Kasım	5,8	5,7	Kasım	89,0	81,6
Aralık	66,8	72,2	Aralık	3,9	4,5	Aralık	77,7	82,9
	1778,2	1785,4		100,8	104,4		75,6	78,0

Çizelge 5.6: Sandia, Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri (Gölbaşı Arazi)

POAI (kWh/m2)	Sandia	PVsyst	AC Enerji (MWh)	Saha	PVsyst	PR (%)	IEC 61724	PVsyst
Ocak	94,4	103,5	Ocak	7,5	9,2	Ocak	76,4	80,6
Şubat	108,1	115,7	Şubat	10,5	10,5	Şubat	80,1	82,5
Mart	154,4	158,2	Mart	14,2	14,4	Mart	68,7	82,6
Nisan	160,1	159,4	Nisan	17,0	14,3	Nisan	91,9	81,8
Mayıs	195,2	184,6	Mayıs	17,3	15,9	Mayıs	81,1	78,6
Haziran	210,1	195,5	Haziran	14,7	16,8	Haziran	73,9	78,3
Temmuz	229,7	214	Temmuz	19,6	18,0	Temmuz	76,8	76,4
Ağustos	213,1	207,1	Ağustos	18,2	17,4	Ağustos	73,3	76,2
Eylül	183,8	182,7	Eylül	15,9	15,4	Eylül	68,8	76,8
Ekim	142,8	148,4	Ekim	12,2	13,1	Ekim	76,3	80
Kasım	100,6	110,5	Kasım	9,8	9,5	Kasım	84,2	78,2
Aralık	78,6	87,7	Aralık	6,7	7,2	Aralık	94,1	74,6
	1871,0	1867,3		163,6	161,7		79,5	78,7

Çizelge 5.7: Sandia ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri (Gölbaşı Otopark)

POAI (kWh/m2)	Sandia	PVsyst	AC Enerji (MWh)	Saha	PVsyst	PR (%)	IEC 61724	PVsyst
Ocak	76,6	79,9	Ocak	0,5	1,0	Ocak	76,4	86,3
Şubat	92,4	95,7	Şubat	1,2	1,2	Şubat	80,1	84
Mart	139,5	140	Mart	1,7	1,8	Mart	68,7	83,5
Nisan	153,7	153,2	Nisan	2,3	1,9	Nisan	91,9	83,2
Mayıs	194,1	190,3	Mayıs	2,4	2,3	Mayıs	81,1	79,8
Haziran	212,4	206,7	Haziran	2,2	2,5	Haziran	73,9	79,4
Temmuz	229,7	224,2	Temmuz	2,8	2,6	Temmuz	76,8	77,4
Ağustos	205,1	202,9	Ağustos	2,4	2,4	Ağustos	73,3	77,3
Eylül	167,2	167,3	Eylül	1,9	1,9	Eylül	68,8	77,6
Ekim	122,8	124,8	Ekim	1,4	1,5	Ekim	76,3	80,9
Kasım	82,4	86,1	Kasım	1,0	1,1	Kasım	84,2	83,1
Aralık	63,4	65,6	Aralık	0,8	0,8	Aralık	94,1	85,7
	1739,3	1736,7		20,5	21,0		78,7	80,5

Çizelge 5.8’de saha verilerinden teorik formüller ile hesaplanarak ve simülasyondan elde edilen kayıp faktörleri yer almaktadır. Sıcaklık ve tozlanma kayıpları sistem performansına en çok etkisi olan faktörlerdir.

Sıcaklık kaybı, PVsyst programında Kesim 4.1.c’de belirtildiği üzere sıcaklık sabiti U_L ile hesaplanır. Sıcaklık sabiti FV modül sehpalarının arkadan rüzgar alma sıklığını belirtir. Arazi bölümündeki FV modülleri diğer bölümlerdeki FV modüllere göre rüzgarı arkadan daha sık aldığı için, arazi bölümünün sıcaklık sabiti daha fazla, ısı kaybı daha azdır. Saha sonuçlarında yer alan ısı kaybı, Kesim 2.3’te belirtilen Rauschenbach’ın çalışmasında yer alan formül ile hesaplanmıştır. Bu formülde sıcaklık sabiti yer almamaktadır. Elde edilen sonuç FV modüllerin arkadan aldığı rüzgarın sıklığına göre değişmez.

Yansıma kaybının (IAM loss) arazi, çatı ve otopark sistemleri için simülasyon değerleri ve Kesim 2.3’te belirtilen formüle göre hesaplanan değerleri kıyaslandığında en fazla kaybın otoparkta, en az kaybın arazide olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yansıma kaybının FV modül ve azimut açısına göre değişmesinden kaynaklanmaktadır. Kuzey yarımküredeki bir bölge için en az yansıma kaybı, FV modüllerinin azimut açısı 180° iken ve FV modülleri enleme göre optimum açıdayken olmaktadır.

Evirici kaybının simülasyon değerleri üç sistem için de aynı, gerçek saha verilerinden hesaplanan evirici kaybı değerleri ise farklılık göstermektedir. Gerçek saha verilerinde en yüksek evirici verimi otopark sisteminde görülmüştür.

Çizelge 5.8: Saha Verileri ve PVsyst Sonuçlarına Göre Yıllık Kayıp Faktörleri (Gölbaşı Çatı-Arazi-Otopark)

Çatı	Teorik ve Saha(%)	PVsyst (%)	Arazi	Teorik ve Saha (%)	PVsyst (%)
Sıcaklık	6,69	6,40	Sıcaklık	6,69	3,60
Tozlanma	6,10	6,10	Tozlanma	6,10	6,10
IAM Loss	2,74	3,10	IAM Loss	2,29	2,70
Uyuşmazlık Kaybı	2,57	2,30	Uyuşmazlık Kaybı	2,57	2,30
Omik Kayıp	0,54	0,60	Omik Kayıp	0,54	0,60
Evirici Kaybı	2,05	1,60	Evirici Kaybı	1,84	1,60
Gölge Kaybı	-	0,70	Gölge Kaybı	-	2,20
		Otopark	Teorik (%)	PVsyst (%)	
		Sıcaklık	6,69	3,30	
		Tozlanma	6,10	6,10	
		IAM Loss	3,02	3,30	
		Uyuşmazlık Kaybı	2,57	2,30	
		Omik Kayıp	0,54	0,40	
		Evirici Kaybı	1,61	1,60	
		Gölge Kaybı	-	0,00	

Gölbaşı GES tesisinin genel performansı değerlendirilecek olursa, Lave denklemi ve PVsyst ile elde edilen aylık ışıınım değerlerinin birbirine yakın, yıllık ışıınım değerlerinin birbirine çok yakın olduğu Çizelge 5.9’da görülmektedir. Saha ve PVsyst’ten elde edilen AC Enerji değerleri arasında yıllık %0,7’lik, performans oranları arasında ise %0,8’lik bir fark bulunmaktadır.

Çizelge 5.9: Sandia, Saha ve PVsyst Sonuçlarına Göre POAI, AC Enerji ve Performans Oranı Aylık ve Yıllık Değerleri (Gölbaşı GES Genel Değerler)

POAI (kWh/m2)	Sandia	PVsyst	AC Enerji (MWh)	Saha	PVsyst	PR (%)	IEC 61724	PVsyst
Ocak	87,9	95,2	Ocak	11,8	15,7	Ocak	67,0	82,5
Şubat	102,4	108,6	Şubat	17,7	18,0	Şubat	86,6	82,9
Mart	149,1	152,4	Mart	24,6	25,3	Mart	82,4	83,0
Nisan	158,1	157,9	Nisan	30,0	25,9	Nisan	94,8	82,1
Mayıs	195,3	187,4	Mayıs	30,8	29,4	Mayıs	78,7	78,4
Haziran	211,7	200,4	Haziran	26,5	31,1	Haziran	62,5	77,7
Temmuz	230,5	218,4	Temmuz	35,3	33,1	Temmuz	76,5	75,7
Ağustos	210,7	206,4	Ağustos	32,1	30,8	Ağustos	76,2	74,7
Eylül	178,1	177,6	Eylül	27,4	26,8	Eylül	76,8	75,3
Ekim	135,6	140,3	Ekim	20,9	22,2	Ekim	77,2	79,0
Kasım	93,9	101,9	Kasım	16,6	16,2	Kasım	88,5	79,7
Aralık	73,0	80,2	Aralık	11,3	12,5	Aralık	77,5	78,1
	1826,3	1826,8		284,9	287,0		78,0	78,6

Gölbaşı GES tesisinde verimi etkileyen faktörleri incelediğimizde, simülasyon ve teorik sonuç arasındaki en büyük fark ısı kayıp değerleri arasındadır. Bunun sebebi simülasyonda göze sıcaklığı hesaplanırken modüllerin arka yüzeyden rüzgar alma miktarını belirleyen U_c parametresinin çatı ve arazi bölümleri için farklı seçilmesi, teorik hesaplamada, arka yüzeyden rüzgar alma durumunun hesaba katılmamasıdır. Bunun dışındaki kayıp değerleri birbirine yakındır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10: Saha Verileri ve PVsyst Sonuçlarına Göre Yıllık Kayıp Faktörleri (Gölbaşı GES Toplam)

Gölbaşı Toplam	Teorik (%)	PVsyst (%)
Sıcaklık	6,69	4,63
Tozlanma	6,10	6,10
IAM Loss	2,51	2,90
Uyuşmazlık Kaybı	2,50	2,30
Omik Kayıp	0,54	0,59
Evirici Kaybı	1,90	1,60
Gölge Kaybı	-	1,47

- **Torbalı GES ve Gölbaşı GES Tesislerinin Performans Değerlendirmesi**

Torbalı ve Gölbaşı GES tesislerinin küresel yatay ışınlım değerleri arasında 106 kWh/m² fark varken, FV modülne düşen ışınlım değerleri (POAI) arasında m² başına 20 kWh fark bulunmaktadır. Bunun sebebi Gölbaşı GES'in FV modül açısının optimum açığa daha yakın olması ve FV modül düzlemine dik gelen güneş ışınlarına daha çok maruz kalmasından kaynaklanmaktadır (Çizelge 5.11).

İki tesiste de verimi en fazla etkileyen faktör ısı kayıp faktörüdür. Sıcaklık kaybının ortalama sıcaklık değerleri ile orantılı olduğu Çizelge 5.11'de görülebilir.

Sıcaklık faktöründen sonra iki tesiste de verimliliği en çok etkileyen faktör tozlanma kaybı faktörüdür. Bu çalışmada Gölbaşı GES'in Torbalı GES'e göre FV modüllerin üzerinde biriktiği varsayılan Partiküler Madde Ortalaması daha fazla olduğu kabul edildiği için tozlanma kaybı değeri Gölbaşı tesisinde daha fazladır.

Yansıma kaybı, FV modül açısının optimum açığa yakınlığı ile orantılı olarak değişmektedir. Gölbaşı GES tesisinde FV modül açısı optimum FV modül açısına daha yakın olduğu için yansıma kaybı Torbalı GES tesisine göre daha azdır.

İki tesisin Performans Oranı değerleri arasındaki fark azdır. Bunun sebebi bu parametrenin belirlenmesinde birçok faktörün etkin olmasıdır.

İki tesis için elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yıllık uyuşmazlık kaybı %2,3'tür. Kesim 2.3'te değinilen Bucciarelli'nin çalışmasında ortaya koymuş olduğu formüle göre hesaplanan uyuşmazlık kaybı değerleri arasında az bir fark bulunmaktadır.

İki tesisin gölge kayıpları arasındaki fark, Gölbaşı GES tesisi arazi bölümündeki gölge etkisinden kaynaklanmaktadır. Omik kayıplar arasındaki fark ise Torbalı tesisindeki toplam dizi başına düşen ortalama DC kablo uzunluğunun Gölbaşı'ndakinden fazla olmasıdır.

Çizelge 5.11: Gölbaşı GES ve Torbalı GES Tesislerinin Yıllık Performans ve Kayıp Parametreleri

Performans ve Kayıp Parametreleri	Torbalı GES		Gölbaşı GES	
	Teorik (%)	PVsyst (%)	Teorik (%)	PVsyst (%)
GHI (kWh/m ²)	1712,09		1606,91	
POAI (kWh/m ²)	1846,50		1826,30	
Sıcaklık (°C)	11,33		17,41	
AC Enerji Değeri (MWh)	848,80	848,67	284,86	287,05
Performans Oranı (%)	77,52	77,30	77,99	78,57
Sıcaklık	9,22	9,30	6,69	4,63
Tozlanma	4,10		6,10	
IAM Loss	2,67	3,20	2,51	2,90
Uyuşmazlık Kaybı	2,66	2,30	2,50	2,30
Omik Kayıp	1,47	1,50	0,54	0,59
Evirici Kaybı	2,10	1,50	1,90	1,60
Gölge Kaybı	-	0,40	-	1,47

Fotovoltaik sistemlerde verimi en çok etkileyen faktörlerden biri ısı kaybıdır. PVsyst programında FV modül sıcaklığı hesaplanırken birçok ışıma, ortam sıcaklığı ve sıcaklık sabiti gibi parametreler kullanılır. Sıcaklık sabiti kullanıcı bilgisine göre girilmesi gereken bir parametredir. Torbalı GES tesisi için sıcaklık sabiti 20 W/m²K, Gölbaşı GES tesisinde ise tüm bölümlerin sıcaklık sabitlerinin ağırlıklı ortalaması 25,7 W/m²K'dir. Bu değerlerin 29 W/m² olması durumunda ilk yıl üretimlerinde Torbalı GES'te 3936,8 \$ ve Gölbaşı GES'te 452,2 \$ kazanç olacaktır, Çizelge 5.12.

Sıcaklık sabiti değerlerinin artması için FV modüllerinin arka yüzeylerinin m² başına düşen rüzgar miktarının artması gerekmektedir. Rüzgarın artması modül açısının artmasıyla mümkün olabilir. Modül açısının artması durumunda arka yüzeylerin rüzgar ile temas yüzeyi artacaktır.

Çizelge 5.12: Gölbaşı GES ve Torbalı GES Tesislerinde U_L Parametresinin Değiştirilmesi ile Elde Edilen Sonuçlar

Torbalı GES			Gölbaşı GES		
U _L (W/m ² K)	20	29	U _L (W/m ² K)	25,7	29
AC Enerji (MWh)	848,7	878,3	AC Enerji (MWh)	287,1	290,5
	Artış (%)	3,5		Artış (%)	1,2
	Artış (\$)	3936,8		Artış (\$)	452,2

Çizelge 5.13'te Torbalı GES ve Gölbaşı GES tesislerinde tozlanma kaybı değerinin enerji üretimine etkisi ve kazanç değerleri görülmektedir. Hiç temizleme yapılmaması durumunda Torbalı GES tesisinde tozlanma kaybı %4,1, Gölbaşı GES tesisinde ise kayıp %6,3 olacaktır. FV modüllerinin belirli periyotlar ile makul yöntemler kullanılarak temizlenmesi durumunda santralin performansı artacaktır. Ancak temizlik için yapılacak masraf, performans artışından elde edilecek kazançtan fazla olmamalıdır. Tesisin uzun ömürlü olması açısından temizlik konusu ile ilgili her GES için bir fizibilite çalışması yapılmalıdır.

Çizelge 5.13: Gölbaşı GES ve Torbalı GES Tesislerinde Tozlanma Kaybının Değiştirilmesi ile Elde Edilen Sonuçlar

Torbalı GES				
Tozlanma Kaybı (%)	4,1	3	2	1
AC Enerji (MWh)	848,7	857,6	865,4	873,1
	Artış (%)	1,0	2,0	2,9
	Artış (\$)	1183,7	2221,1	3245,2
Gölbaşı GES				
Tozlanma Kaybı (%)	6,3	4	3	2
AC Enerji (MWh)	287,1	294,1	296,5	299,3
	Artış (%)	2,4	3,3	4,2
	Artış (\$)	931,0	1250,2	1622,6

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Konvansiyonel enerji kaynaklarının gelecekte tükenme tehlikesi ile birlikte dünyada yenilenebilir enerji kaynaklı enerji santrallerine yapılan yatırımlar son yıllarda artmaktadır. Bu pastanın içerisinde en büyük paylardan biri GES tesislerine yapılan yatırımlarıdır. Türkiye’de 2005 yılından bu yana devlet tarafından Yasa ve yönetmelikler vasıtasıyla yapılan destekler ile büyük yatırımcılar sektör içerisine dahil edilmiştir. 2018 yılı itibariyle dağıtım şirketinin dağıtım bedellerini önemli ölçüde arttırması ile Lisanssız Elektrik Üretimi kapsamında Güneş Enerjisi Santralleri’ne yapılan yatırımlar azalmaya başlamıştır. Büyük GES kurulumlarında büyük pay 2018 yılından itibaren Lisanslı Elektrik Üretimi Tesisleri Yönetmeliği kapsamında yapılacaktır. Küçük yatırımcıların da devlet tarafından çıkarılacak yasa ve yönetmelikler ile sektöre dahil edilmesi ile birlikte fotovoltaik sistemlerinin Enerji Santralleri içerisindeki payının artmaya devam edeceği öngörülmektedir.

Güneş enerjisi kaynaklı elektrik üreten sistemlerin payını enerji sektörü içerisinde daha da büyütmek için kısa ve uzun vadeli enerji üretimi tahminlerinin az hata payı ile yapılması önem arz etmektedir. Birçok EPC ve proje firması tarafından kullanılan PVsyst programı ile kurulumu yapılacak fotovoltaik sistemin kısa ve uzun vadeli enerji üretimi tahminleri yapılabilmektedir. Türkiye’deki EPC firmaları yıllardır yatırımcılar ile arasında yapacakları sözleşmelerde PVsyst programında yer alan yıllık performans oranını belli bir hata oranını koşul olarak belirterek taahhüt edebilmektedirler. Ancak sadece PVsyst programında kullanılan formüllere bağlı kalınmayıp literatürde bulunan fotovoltaik sistemlerin performans ve kayıp parametrelerinin tahmini için yer verilen formüller ile hesaplamalar yapılmalı, PVsyst verilerinin doğruluğu sorgulanmalıdır. PVsyst programı gibi simülasyon programları bu karşılaştırmalar sayesinde geçmişten günümüze gelişme kaydetmiştir. Fotovoltaik simülasyon programlarının gelişmesi ile de performans ve enerji tahmini daha az hata oranı ile yapılacak ve bu durum güneş enerjisi santralleri tasarımlarının daha güvenilir olmasına, enerji sektörü yatırımcıları için güneş enerjisi sistemlerinin daha rasyonel bir seçenek haline gelmesine vesile olacaktır.

6.1- Sonuçlar

Çalışmada Torbalı ve Gölbaşı İlçeleri’nde yer alan GES tesislerinin performans ve kayıp parametreleri eviricideki akım, gerilim ve enerji üretim değerleri vasıtasıyla literatür çalışmalarında yer alan formüller ile hesaplanmıştır. Ayrıca PVsyst programı ile santrallerin simülasyonu yapılmıştır. Aylık ve yıllık olarak simülasyon ve saha verilerinden elde edilen simülasyon ve saha sonuçları arasında kıyaslama yapılmıştır. Özellikle ışıınım, sıcaklık ve tozlanma verilerinin sistem performansını önemli ölçüde etkilediği sonucu ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmada ortaya çıkan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Saha ve Simülasyon değerlerinden elde edilen yıllık Performans Oranı değerlerinin birbirine çok yakın, aylık performans oranı değerleri arasında da fark

olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi, yıllık ısıtım ve ortalama sıcaklık değerleri fazla değişmezken, aylık ısıtım ve sıcaklık değerleri yıllara göre değişiklik göstermesidir. Çalışmada gerek Gölbaşı GES gerekse Torbalı GES tesislerinde sahadan ve simülasyondan elde edilen aylık performans oranı değerleri arasındaki fark; gerçek ısıtım ve sıcaklık değerlerini ile NASA ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü veritabanlarından alınmış ortalama değerler arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.

- Sıcaklık kaybının verimi etkileyen önemli parametrelerden biri olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Gölbaşı GES'te yıllık ısıtım kaybı değerinin %6 civarında, Torbalı GES'te ise %10 civarında olduğu görülmektedir. Torbalı GES'te bu değer aylık olarak değerlendirildiğinde yaz aylarında %14'e kadar yükselmektedir. PVsyst ile literatürdeki çalışmalardan gerçek saha verileri girdi olarak kullanılarak hesaplanmış ısıtım kaybı değerleri arasında yıllık olarak bakıldığında fazla bir fark bulunmamaktadır.
- Gölbaşı GES ve Torbalı GES'teki omik kayıp yüzdelik değerleri arasında %1 fark bulunmaktadır. Bunun sebebi Torbalı'da evirici ve FV modüller arasında kullanılan DC kabloların ortalama kablo uzunluğu Gölbaşı'ndakine göre daha fazla olmasıdır. Omik kaybın azaltılması için kablo uzunluğunu azaltılması gerekmekte ve bunun için çözüm olarakta zeminde bulunan eviricilerin modüllere daha yakın bir noktaya örneğin çatı üstüne çıkarılması gerekmektedir. Ancak evirici gibi hassas elektronik cihazların ortam sıcaklığı belli bir seviyede olacak bölgelerde çalışması gerekmektedir. Aksi takdirde sıcaklığın artması ile birlikte verim kaybı yaşanabilir. Ayrıca eviricinin kullanım ömrü azalır. Bu yüzden omik kayıp Torbalı GES'teki gibi sanayi ölçekli FV çatı sistemlerinde göze alınabilecek bir kayıp değeridir.
- İki tesis için PVsyst programında yapılan simülasyonda gölge kaybı değerleri arasında %1 fark bulunmaktadır. Farkın oluşmasının sebebi, Torbalı GES'te FV modüller birbirine gölge yapmayacak bir şekilde çatıya hemiyüz montaj yapılırken, Gölbaşı GES'in özellikle arazi bölümünde modül yerleşim alanı sınırlı olduğundan kuzey güney doğrultusunda modül sehpaları arasındaki mesafeler belli tarihlerde birbirine gölge yapacak şekilde bırakılmıştır.
- Tozlanma kaybı FV sistem simülasyonlarında tamamen tahmini olarak belirlenen bir parametredir. Bu çalışmada da, tesislerde tozlanma etkisini ölçecek bir düzenek ve parametre ile ilgili bir veri bulunmadığı için tozlanma kaybı değeri, literatürde bulunan bir çalışmada Partiküler Madde (PM10) ve yüzdelik tozlanma kaybı değeri arasında ilişki kuran bir denklem ile teorik olarak hesaplanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ilçe istasyonlarından alınan PM10 değerleri kullanılarak hesaplanan kayıp değerleri incelendiğinde, Torbalı GES tesisinde Gölbaşı GES tesisine göre daha fazla tozlanma kaybı yaşanmaktadır.

6.2- Öneriler

Fotovoltaik sistem performans ve üretim değerleri PVsyst gibi programlar ile yıllık olarak yüksek doğruluk oranında tahmin edilebilmektedir. Ancak aylık performans tahminlerinde büyük farklar oluşabilmektedir. Aylık performans oranlarını daha yüksek doğruluk oranında tahmin edebilmek için fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgeye ait mümkün olduğunca fazla sıklıkta ışınlım, sıcaklık, rüzgar yönü, rüzgar hızı ve toz parametreleri ile ilgili verilere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu değerler, Türkiye’de kurulacak bir santralin 4 mevsim yaşacağını düşünürsek, saatlik olmak kaydıyla en az 1 sene tutulmuş olmalıdır. Bahsedilen değerleri ölçmek için bir adet şebekeden bağımsız istasyon kurulabilir. Bu istasyonda sıcaklığı, rüzgar hız ve yönünü ölçecek sensörler piyasada rahatlıkla bulunabilir. Işınlımı ölçmek için güneş gözesi şeklinde sensörler bulunmaktadır. Ancak güneş gözesinin performansı çalışmada bahsedilen verimi etkileyen faktörlerden ötürü etkilenebileceği için doğru ölçüm değerleri vermeyebilir. Bu yüzden periyodik olarak kalibrasyonu yapıldığı takdirde ışınlım ölçümü için piranometre kullanılması daha doğru olacaktır. Fotovoltaik sistem verimini etkileyen diğer bir önemli faktör olan tozlanma kaybının tespiti için bir düzenek kurulması gerekmektedir. Kurulacak şebekeden bağımsız sistemde iki adet eş özelliklerde modülün bir tanesi periyodik olarak temizlenip, diğeri temizlenmez ve iki modülün de ölçüm değerleri kaydedilirse tozlanma etkisi tespit edilebilir. Ayrıca iki adet modül şebekeden bağımsız sistemdeki aküyü ve yükleri beslemekte kullanılabilir. İstasyondan elde edilecek günlük, aylık ve yıllık değerler; o bölgeye kurulacak FV sistemin aylık ve yıllık enerji tahminlerinin daha yüksek doğrulukta yapılmasını sağlayacaktır. Ayrıca FV sistem kurulduktan ve devre alındıktan sonra sistemin işletme sürecinde böyle bir sistemden elde edilecek veriler, oluşabilecek arızalara önlem alınması açısından faydalı olacaktır.

GES tesislerinde verimi en çok etkileyen faktörlerden biri olan ısı kaybının takibi, verim kayıplarının önüne geçilmesi için önem teşkil etmektedir. Tesisin işletme süreci esnasında tozlanma, gölge ya da darbe kaynaklı oluşan modülde anormal ısınmalar, seri bağlı oldukları modüllerin de performansını etkilemekte, kullanım ömürlerini azaltmakta ve arıza durumlarında FV sisteme zarar verebilmektedir. Küçük ölçekli sistemlerde, FV modüllerde ısı kayıplarının önüne geçmek için modüllere montajlanmak üzere haberleşme modülü olan sıcaklık sensörleri ile scada sistemlerine sıcaklık bilgisi aktarılabilir. Sıcaklık bilgisi sıklıkla takip edilmeli ve modüle montajlı sensörden yüksek bir sıcaklık değeri scada sistemine düştüğünde, modülde oluşacak arızaların önüne geçilmesi için erken bilgi sahibi olunur. DC toplama kutusu olan orta ve büyük ölçekli sistemlerde, kutunun içerisinde kablosuz haberleşme modülü olan sıcaklık sensörü yerleştirilip dizilerdeki sıcaklıklar takip edilerek önemli bir arızanın oluşmaması için doğru zamanda önlemler alınabilir.

7. KAYNAKÇA

- [1] World Nuclear Association. *Renewable Energy and Electricity*. <http://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/renewable-energy-and-electricity.aspx>. Mayıs, **2018**.
- [2] Centraal Bureau Voor De Statistiek. *More Wind And Solar Electricity*. <https://www.cbs.nl/en-gb/news/2018/09/more-wind-and-solar-electricity>. Mart, **2018**.
- [3] Brian O'connell. *5 Tips When Investing in Solar Stocks*. <https://www.thebalance.com/tips-to-invest-in-solar-stocks-4156529>. June, **2018**.
- [4] International Renewable Energy Agency (Abu Dhabi), *Renawable Power Generation Costs İn 2014*. Tech rep; <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf>. **2015**.
- [5] Kutay Kaleli. Hacettepe Üniversitesi-Yeni ve Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (YETAM) Fotovoltaik Çalıştayı. Ekim, **2017**.
- [6] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE Conferences & Consulting GmbH. *Photovoltaics Report*. Freiburg, Ağustos, **2018**.
- [7] B. Mondoc and F. Pop. *Factors of Influencing the Performance of a Photovoltaic Power Plant*. 3rd International Conference on Modern Power Systems. May, **2010**.
- [8] Mutlu Boztepe. *Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler*. Ege Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü. **2015**.
- [9] Eşref Deniz, *Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar*. Akademi Enerji, İzmir. **2013**.
- [10] Özgün, Haluk. *Fotovoltaik Enerji Sistemleri: Temel Kavramlar ve Örnek Projelerle Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri*. GÜNDER Güneş Kitaplığı. İstanbul. **2016**.
- [11] *TEDAŞ Yetkisi Kapsamındaki Projelerin Onayına İlişkin Usul ve Esaslar*. TEDAŞ Genel Müdürlüğü Proje ve Tesis Dairesi Başkanlığı Proje Müdürlüğü.
- [12] *Dust effecton flat surfaces – A reviewpaper* Sanaz Ghazi., Ali Sayigh, KennethIp, Environmental Engineering, Department of Islamic Azad University - Parandbranch, Parand, Iran, World Renewable Energy Network, Brighton, UK, School of Environment and Technology, University of Brighton, Brighton, UK. **2014**.
- [13] Douglas C. Giancoli, University of California, *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics*, 4th Edition. **2008**.
- [14] *Estimation Method of DC Wire Losses in Photovoltaic Systems*. Song Chen, Stephanie Quinn, Chung-Ti Hsu, Brad Lehman, Department of Electrical & Computer Engineering Northeastern University. **2012**.
- [15] H. Saha and G. Bhattacharya. *Mismatch Losses In Series Combinations of Silicon Solar Cell Modules*. Department of Physics, Kalyani University, West Bengal. April 14, **1988**.
- [16] L. L. Bucciarelli Jr., “Power loss in photovoltaic arrays due to mismatch in cell characteristics,” *Solar Energy*, vol. 23, no. 4, pp. 277–288. **1979**.
- [17] Kaushika Narendra D, Guatam Nalin K. *Energy yield simulations of interconnected solar PV arrays*. *IEEE Trans Energy Convers*; 18(1):127–34. **2003**.
- [18] *An investigation of mismatch losses in solar photovoltaic cell networks*. N.D. Kaushikaa, Anil K. Rai, aBharati Vidyapeeth School of Multidisciplinary Research. **2005**.
- [19] Sayed Mohammed, Larry Partain. *Effect Of Shading On Cds/Cuxs Solar Cells And Optimal Solar Array Design*. *Energy Convers*;14: 61–71. **1975**.

- [20] Kaushika Narendra D, Guatam Nalin K. *Energy Yield Simulations of Interconnected Solar PV Arrays*. IEEE Trans Energy Convers; 18 (1):127–34. **2003**.
- [21] Di Dio, V., La Cascia, D., Miceli, R., Rando, C. *A Mathematical Model To Determine The Electrical Energy Production in Photovoltaic Fields Under Mismatch Effect*. In: Clean Electrical Power International Conference on, Palermo. **2009**.
- [22] *Effects of Mismatch Losses in PV Arrays* Charles Chamberlin. Environmental Resources Engineering Humboldt State University. **2006**.
- [23] Damm, W., Heinemann, D., Pukrop, D. *Power Losses in PV Arrays Due To Variations in The I–V Characteristics of PV Modules*. In: Proc. ISES Solar World Congress, Harare, Zimbabwe. **1995**.
- [24] Roche, D., Outhred, H., Kaye, R.J. *Analysis And Control Of Mismatch Power Loss in Photovoltaic Arrays*. Prog. Photovolt.: Res. Appl. 3, 115–127. **1995**.
- [25] Silvestre, S., Boronat, A., Chouder, A. *Study of Bypass Diodes Configuration On PV Modules*. Appl. Energy 86, 1632–1640. **2009**.
- [26] *Experimental Model To Estimate Shading Losses On Pv Arrays*. F. Martínez-Moreno, J. Muñoz, E. Lorenzo Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid (IES-UPM). **2010**.
- [27] Alonso-García, M.C., Ruiz, J.M., Chenlo, F. *Experimental Study of Mismatch And Shading Effects in The I–V Characteristic Of A Photovoltaic Module*. Solar Energy Mater. Solar Cells 90, 329–340. **2006**.
- [28] L. L. Bucciarelli Jr. *Power Loss in Photovoltaic Arrays Due To Mismatch in Cell Characteristics*. Solar Energy, vol. 23, no. 4, pp. 277–288, **1979**.
- [29] Garcia, M.C.A. and J.L. Balenzategui. *Estimation Of Photovoltaic Module Yearly Temperature And Performance Based On Nominal Operation Cell Temperature Calculations*. Renewable Energy, 29: 1997–2010. **2004**.
- [30] Trinuruk, P., C. Sorapipatana and D. Chenvidhya. *Estimating operating cell temperature of BIPV Modules in Thailand*. Renewable Energy. 34: 2515–2523. **2009**.
- [31] Grunow, P., S. Lust, D. Sauter, V. Hoffmann, C. Beneking, B. Litzenburger and L. Podlowski. *Weak Light Performance and Annual Yields of PV Modules And Systems As A Result of The Basic Parameter Set Of Industrial Solar Cells*, 19 European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, France. **2004**.
- [32] PVEducation. *A Collection of Resources For The Photovoltaic Educator*. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/open-circuit-voltage>.
- [33] A.Q. Jakhrani, A.K. Othman, A.R.H. Rigit and S.R. Samo. *Comparison of Solar Photovoltaic Module Temperature Models*. Faculty of Engineering, Universiti Malaysia Sarawak, 94300, Kota Samarahan, Sarawak, Malaysia. **2011**.
- [34] *A Call For Quality Power Loss From Crystalline Module Degradation Causes A Big Headache for The Industry*. Ines Rutschmann SiC Processing AGPHOTON International March **2008**.
- [35] S. Sterk, K. Münzer, and S. Glunz, Proc. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conf. (Stephens, Bedford), p. 85. **1997**.
- [36] <https://www.q-cells.com/us/index/service/warranty>,
<http://www.solarworld.de/en/service/linear-performance-guarantee/>,
<http://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet-PD05.08D.pdf>
[http://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM270P-60\(4BB\).pdf](http://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM270P-60(4BB).pdf)
- [37] *Understanding Light-Induced Degradation of c-Si Solar Cells*. Bhushan Sopori National Renewable Energy Laboratory Prakash Basnyat, Sudhakar Shet, and Vishal Mehta National Renewable Energy Laboratory and New Jersey Institute of

- Technology Jeff Binns and Jesse Appel MEMC Electronic Materials. Presented at the 2012 IEEE Photovoltaic Specialists Conference. **2012**.
- [38] M. Drif, P. J. Perez, J. Aguilera, and J. D. Aguilar, “*A New Estimation Method Of Irradiance on A Partially Shaded PV Generator in Gridconnected Photovoltaic System*,” *Renew. Energy*, vol. 33, no. 9, pp. 2048–2056, Feb. **2008**.
 - [39] M. García, J. A. Vera, L. Marroyo, E. Lorenzo, and M. Pérez, “*Solartracking PV Plants in Navarra: A 10 MW Assessment*” *Prog. Photovoltaics: Res. Applicat.*, Apr. **2009**.
 - [40] Matthias Diehl. Checking bypass diodes on solar panels: Part 1. <https://www.photovoltaikbuero.de/en/pv-know-how-blog-en/checking-bypass-diodes-on-solar-panels-part-1/>. 22 February, **2016**.
 - [41] Christina Honsberg and Stuart Bowden. *A Collection of Resources For The Photovoltaic Educator*. PV Education/PVCDROM/Properties of Sunlight.
 - [42] *Investigating the Impact of Ground Albedo on the Performance of PV Systems*. Y. Kotak BEng, MSc, M. S. Gul BEng, PhD, T. Muneer PhD, DSc. Heriot-Watt University, Edinburgh, Edinburgh Napier University, Edinburgh. **2015**.
 - [43] R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, and J. Michalsky, “*Modeling Daylight Availability and Irradiance Components From Direct and Global irradiance*,” *Sol. Energy*, vol. 44, pp. 271-289, **1990**.
 - [44] HAY, J.E.; Davies, J.A. *Calculation of the Solar Radiation Incident on an Inclined Surface*. In Proceedings of the First Canadian Solar Radiation Data Workshop, Toronto, ON, Canada, 17–19 April **1978**.
 - [45] *Performance Analysis of Transposition Models Simulating Solar Radiation on Inclined Surfaces*. Preprint Yu Xie and Manajit Sengupta National Renewable Energy Laboratory. **2016**.
 - [46] Lave, M., et al. “*Evaluation of Global Horizontal Irradiance to Plane-of-Array Irradiance Models at Locations Across the United States*.” *IEEE Journal of Photovoltaics* 5(2): 597-606. **2015**.
 - [47] *Photovoltaic System Performance Monitoring Guidelines For Measurement, Data Exchange and Analysis*. BS EN 61724:1998 IEC 61724: **1998**.
 - [48] *The Cambridge Handbook of Physics Formulas*. Graham Woan. Cambridge University Press. **2000**.
 - [49] *Parametrization of Solar Irradiation Under Clear Skies*. Meinrad A. Machler. Mechanical Engineering Department of Zurich Technical University. **1977**.
 - [50] Douglas C. Giancoli, University of California, *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics*. 4th Edition. **2008**.
 - [51] Joshua Smalley. *What is a combiner box?*. Solar Power World Online. 30 June, **2015**.
 - [52] *Ambient Airborne Particle Concentration and Soiling of PV Cover Plates*. Liza Boyle, Holly Flinchpaugh, Mike Hannigan University of Colorado, Boulder, Colorado, United States. IEEE. **2014**.
 - [53] *Impact of Natural Soiling on the Transmission of PV Cover Plates*. Liza Boyle, Holly Flinchpaugh, Michael Hannigan University of Colorado, Boulder, Colorado, United States. IEEE. **2013**.
 - [54] A. A. Hegazy, “*Effect Of Dust Accumulation on Solar Transmittance Through Glass Covers Of Plate-Type Collectors*,” *Renewable Energy*, vol. 22, no. 4, pp. 525–540, Apr. **2001**.
 - [55] *Mismatch Loss Reduction in Photovoltaic Arrays as a Result of Sorting Photovoltaic Modules by Max-Power Parameters*. J. Webber¹ and E. Riley² ¹ European Solar

- Engineering School, 78170 Borlange, Sweden. Black & Veatch Energy, San Francisco, CA 94111, USA, **2013**.
- [56] Duffie, J. A. and W.A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3 Edition, John Wiley and Sons Inc. **2006**.
- [57] A.Q. Jakhrani, A.K. Othman, A.R.H. Rigit and S.R. Samo. *Comparison of Solar Photovoltaic Module Temperature Models*. Faculty of Engineering, Universiti Malaysia Sarawak, 94300, Kota Samarahan, Sarawak, Malaysia. **2011**.
- [58] *Performance-Economic and Energy Loss Analysis of 80 KWp Grid Connected Roof Top Transformer Less Photovoltaic Power Plant*. S. Sathish Kumar¹, C. Nagarajan Anna University, GRT Institute of Engineering and Technology, Thiruthani, India Muthayammal Engineering College, Rasipuram, India. **2016**.
- [59] <https://www.q-cells.com/us/index/service/warranty>,
<http://www.solarworld.de/en/service/linear-performance-guarantee/>,
<http://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet-PD05.08D.pdf>
[http://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM270P-60\(4BB\).pdf](http://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM270P-60(4BB).pdf)
- [60] *Warranty Conditions*. Solar Fabric Solar Panel Catalogue. <http://solar-fabrik.de/wp-content/uploads/2018/01/Additional-Warranty-Conditions-Premium-Modules-2018.pdf>
- [61] *Effects of Partial Shading on Energy and Exergy Efficiencies for Photovoltaic Panels*. Fatih Bayrak , Gamze Ertürk , Hakan F. Oztop. Department of Mechanical Education, Technical Education Faculty, Firat University, Elazig, Turkey. **2017**.
- [62] Contero Salvadores, Jose Francisco, *Shadowing Effect On the Performance in Solar Pv-Cells*. June, **2015**.
- [63] TEDAŞ. *18.07.2018 Tarihine Kadar Geçici Kabulü Yapılan Projeler*. **2018**.
- [64] *Optimization Of Tilt Angle For Solar FV modül*. Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi. October, **2017**.
- [65] Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi Web Sitesi. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H>
- [66] NASA-SSE Database. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?>
- [67] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı. <http://www.havaizleme.gov.tr/Services/AirQuality>
- [68] Victor Derevyanko. 2009-2010. *PVsyst Help Manuel*. <http://files.pvsyst.com/help/index.html>

8. EK

EK-1

Torbalı GES	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık (kWh/m ² /yıl)
Ortalama Sapma Açısı	-20,85	-13,33	-2,39	9,49	18,81	23,08	21,10	13,30	1,99	-9,85	-19,05	-23,10	-
Ortalama Yükselme Açısı	30,96	38,49	49,42	61,30	70,62	74,89	72,91	65,11	53,80	41,96	32,76	28,72	-
GHI (kWh/m ² /ay)	66,96	80,36	129,89	156,00	203,98	227,40	234,98	207,70	162,30	115,63	71,40	55,49	1712,09
DHI (kWh/m ² /ay)	26,04	32,20	46,81	58,20	64,17	58,50	55,80	50,22	40,80	35,65	27,30	23,87	519,56
DNI (kWh/m ² /ay)	79,53	77,39	109,39	111,49	148,21	174,95	187,45	173,61	150,56	119,62	81,50	65,81	1479,50
POAI-u,ground (kWh/m ² /ay)	0,55	0,66	1,06	1,28	1,67	1,86	1,93	1,70	1,33	0,95	0,59	0,45	14,03
POAI-u,sky (kWh/m ² /ay)	26,24	32,36	46,93	58,08	63,90	58,21	55,61	50,26	41,05	35,94	27,51	24,03	520,13
POAI-d (kWh/m ² /ay)	52,77	58,43	94,56	105,67	145,95	173,73	185,56	167,69	135,46	94,85	55,94	41,71	1312,33
POAI (kWh/m ² /ay)	79,56	91,44	142,56	165,03	211,52	233,81	243,10	219,65	177,84	131,74	84,03	66,20	1846,48

Çizelge 8.1: Torbalı GES Aylık ve Yıllık Güneş Açılımları ve Isınım Değerleri

EK-2

Torbalı GES	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
AOI	48,43	40,98	30,18	18,61	10,03	6,76	8,16	15,00	25,88	37,53	46,65	50,67
cos(AOI)	0,66	0,75	0,86	0,95	0,98	0,99	0,99	0,97	0,90	0,79	0,69	0,63
IAM	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95
IAM Loss %	4,54	3,62	2,78	2,28	2,08	2,04	2,05	2,18	2,56	3,31	4,28	4,89

Çizelge 8.2: Torbalı GES Aylık ve Yıllık Modüle Geliş Açısı ve Yansımaya Kaybı Değerleri

EK-3

TORBALI GES DC KABLOLARDA GÜÇ KAYBI VE BAĞIL (%) GÜÇ KAYBI HESAPLARI								
Evirici no	Dizi numarası	Dizi gücü Wp	Dizi DC akımı A	Kesit (mm ²)	Kablo direnci (Ω)	Kablo mesafesi mt	Güç kaybı W	% güç kaybı
1	1	2709	7,3	10	0,3054	171	32,55	1,210
	2	2709	7,2	10	0,2786	156	28,886	1,070
	3	2698	7,2	6	0,4197	141	43,515	1,620
	4	2698	7,2	6	0,3750	126	38,88	1,450
2	1	2709	7,5	10	0,3090	173	34,763	1,290
	2	2709	7,5	10	0,2822	158	31,748	1,180
	3	2698	7,5	6	0,4256	143	47,88	1,780
	4	2698	7,5	6	0,3810	128	42,863	1,590
3	1	2700	7,49	10	0,3143	176	35,265	1,310
	2	2700	7,49	10	0,2875	161	32,258	1,200
	3	2675	7,49	6	0,4346	146	48,763	1,830
	4	2675	7,49	6	0,3899	131	43,747	1,640
4	1	2683	7,5	10	0,3179	178	35,764	1,340
	2	2683	7,5	10	0,2911	163	32,749	1,230
	3	2698	7,5	6	0,4405	148	49,557	1,840
	4	2698	7,5	6	0,3959	133	44,539	1,660
5	1	2691	7,47	10	0,3233	181	36,081	1,350
	2	2691	7,47	10	0,2965	166	33,09	1,230
	3	2702	7,47	10	0,2697	151	30,1	1,120
	4	2702	7,47	6	0,4048	136	45,177	1,680
6	1	2737,52	7,59	10	0,3268	183	37,653	1,380
	2	2737,52	7,59	10	0,3000	168	34,565	1,270
	3	2740,68	7,59	10	0,2733	153	31,489	1,150
	4	2740,68	7,59	6	0,4108	138	47,331	1,730
7	1	2749,12	7,7074	10	0,2786	156	33,1	1,210
	2	2749,12	7,7074	6	0,4197	141	49,864	1,820
	3	2780,65	7,7074	6	0,3750	126	44,553	1,610
	4	2780,65	7,7074	6	0,3304	111	39,255	1,420
8	1	2702,62	7,5062	10	0,2822	158	31,8	1,180
	2	2702,62	7,5062	6	0,4256	143	47,959	1,780
	3	2718,6	7,5062	6	0,3810	128	42,933	1,580
	4	2718,6	7,5062	6	0,3364	113	37,908	1,400
9	1	2691,58	7,4884	10	0,2858	160	32,053	1,200
	2	2691,58	7,4884	6	0,4316	145	48,405	1,800
	3	2679,69	7,4884	6	0,3870	130	43,403	1,620

	4	2679,69	7,4884	6	0,3423	115	38,39	1,440
10	1	2482,76	6,9686	10	0,2893	162	28,098	1,140
	2	2482,76	6,9686	6	0,4375	147	42,492	1,720
	3	2535,81	6,9686	6	0,3929	132	38,16	1,510
	4	2535,81	6,9686	6	0,3483	117	33,829	1,340
11	1	2686,32	7,4216	10	0,2929	164	32,267	1,210
	2	2686,32	7,4216	6	0,4435	149	48,857	1,820
	3	2684,82	7,4216	6	0,3989	134	43,944	1,640
	4	2684,82	7,4216	6	0,3542	119	39,02	1,460
12	1	2700,32	7,5295	10	0,2965	166	33,619	1,250
	2	2700,32	7,5295	10	0,2697	151	30,581	1,140
	3	2729,27	7,5295	6	0,4048	136	45,899	1,690
	4	2729,27	7,5295	6	0,3602	121	40,842	1,500
13	1	2783,38	7,779	6	0,4137	139	50,069	1,800
	2	2783,38	7,779	6	0,3691	124	44,672	1,610
	3	2786,72	7,779	6	0,3245	109	39,274	1,410
	4	2786,72	7,779	6	0,2798	94	33,864	1,220
14	1	2718,18	7,5997	6	0,4197	141	48,481	1,790
	2	2718,18	7,5997	6	0,3750	126	43,317	1,600
	3	2727,32	7,5997	6	0,3304	111	38,166	1,400
	4	2727,32	7,5997	6	0,2858	96	33,014	1,220
15	1	2701,81	7,5095	6	0,4286	144	48,34	1,790
	2	2701,81	7,5095	6	0,3840	129	43,309	1,610
	3	2720,63	7,5095	6	0,3393	114	38,268	1,410
	4	2720,63	7,5095	6	0,2947	99	33,238	1,230
16	1	2420,47	6,8763	6	0,4346	146	41,099	1,700
	2	2420,47	6,8763	6	0,3929	132	37,156	1,540
	3	2397,92	6,8763	6	0,3453	116	32,654	1,370
	4	2397,92	6,8763	6	0,3006	101	28,427	1,190
17	1	2698,99	7,5097	6	0,4435	149	50,024	1,860
	2	2698,99	7,5097	6	0,3989	134	44,993	1,670
	3	2716	7,5097	6	0,3542	119	39,951	1,480
	4	2716	7,5097	6	0,3096	104	34,921	1,290
18	1	2719,79	7,6212	6	0,4495	151	52,217	1,920
	2	2719,79	7,6212	6	0,4048	136	47,025	1,730
	3	2762,51	7,6212	6	0,3602	121	41,844	1,520
	4	2762,51	7,6212	6	0,3155	106	36,651	1,330
19	1	2782,12	7,7556	6	0,3929	132	47,266	1,700
	2	2782,12	7,7556	6	0,3483	117	41,901	1,510
	3	2802,9	7,7556	6	0,3036	102	36,523	1,310
	4	2802,9	7,7556	6	0,2590	87	31,158	1,120
20	1	2738,55	7,6048	6	0,3989	134	46,14	1,690

	2	2738,55	7,6048	6	0,3542	119	40,969	1,500
	3	2740,61	7,6048	6	0,3096	104	35,811	1,310
	4	2740,61	7,6048	6	0,2649	89	30,64	1,120
21	1	2718,45	7,594	6	0,4078	137	47,035	1,740
	2	2718,45	7,594	6	0,3631	122	41,879	1,550
	3	2726,04	7,594	6	0,3185	107	36,735	1,350
	4	2726,04	7,594	6	0,2739	92	31,591	1,160
22	1	2716,18	7,5551	6	0,4137	139	47,228	1,740
	2	2716,18	7,5551	6	0,3691	124	42,136	1,560
	3	2714,24	7,5551	6	0,3245	109	37,045	1,370
	4	2714,24	7,5551	6	0,2798	94	31,942	1,180
23	1	2726,54	7,5993	6	0,4227	142	48,822	1,800
	2	2726,54	7,5993	6	0,4227	142	48,822	1,800
	3	2749,84	7,5993	6	0,3780	127	43,659	1,590
	4	2749,84	7,5993	6	0,3334	112	38,508	1,410
24	1	2699,68	7,5314	6	0,2887	97	32,752	1,220
	2	2699,68	7,5314	6	0,4286	144	48,622	1,810
	3	2722,02	7,5314	6	0,3840	129	43,563	1,610
	4	2722,02	7,5314	6	0,3393	114	38,492	1,420
25	1	2787,28	7,7903	6	0,2947	99	35,77	1,290
	2	2787,28	7,7903	10	0,2697	151	32,736	1,180
	3	2799,59	7,7903	6	0,4048	136	49,134	1,760
	4	2799,59	7,7903	6	0,3602	121	43,72	1,570
26	1	2728,57	7,6338	6	0,3155	106	36,772	1,350
	2	2728,57	7,6338	10	0,2733	153	31,854	1,170
	3	2747,78	7,6338	6	0,4108	138	47,88	1,750
	4	2747,78	7,6338	6	0,3661	123	42,67	1,560
27	1	2736,94	7,6101	6	0,3215	108	37,239	1,370
	2	2736,94	7,6101	10	0,2786	156	32,27	1,180
	3	2739,29	7,6101	6	0,4197	141	48,614	1,780
	4	2739,29	7,6101	6	0,3750	126	43,436	1,590
28	1	2721,64	7,6119	6	0,3304	111	38,288	1,410
	2	2721,64	7,6119	10	0,2822	158	32,703	1,210
	3	2731,49	7,6119	6	0,4256	143	49,32	1,810
	4	2731,49	7,6119	6	0,3810	128	44,152	1,620
29	1	2721,64	7,6119	6	0,3364	113	38,983	1,440
	2	2721,64	7,6119	10	0,2875	161	33,317	1,230
	3	2731,49	7,6119	6	0,4346	146	50,363	1,850
	4	2731,49	7,6119	6	0,3899	131	45,183	1,660
30	1	2789,57	7,7873	6	0,3453	116	41,879	1,510
	2	2789,57	7,7873	10	0,2911	163	35,306	1,270
	3	2811,68	7,7873	6	0,4405	148	53,426	1,910

	4	2811,68	7,7873	6	0,3959	133	48,016	1,710
31	1	2817,56	7,9152	6	0,3512	118	44,006	1,570
	2	2817,56	7,9152	6	0,3899	131	48,855	1,740
	3	2829,35	7,9152	6	0,3453	116	43,267	1,530
	4	2829,35	7,9152	6	0,3006	101	37,666	1,340
32	1	2764,65	7,7242	6	0,2560	86	30,548	1,110
	2	2764,65	7,7242	6	0,3929	132	46,884	1,700
	3	2774,33	7,7242	6	0,3483	117	41,562	1,500
	4	2774,33	7,7242	6	0,3036	102	36,228	1,310
33	1	2755,3	7,6582	6	0,3989	134	46,79	1,700
	2	2755,3	7,6582	6	0,3542	119	41,547	1,510
	3	2760,53	7,6582	6	0,3096	104	36,316	1,320
	4	2760,53	7,6582	6	0,2649	89	31,072	1,130
34	1	2762,67	7,6736	6	0,4018	135	47,319	1,720
	2	2762,67	7,6736	6	0,3572	120	42,067	1,530
	3	2766,76	7,6736	6	0,3125	105	36,803	1,340
	4	2766,76	7,6736	6	0,2679	90	31,55	1,150
35	1	2811,06	7,8401	6	0,4048	136	49,765	1,780
	2	2811,06	7,8401	6	0,3602	121	44,282	1,580
	3	2831,1	7,8401	6	0,3155	106	38,787	1,380
	4	2831,1	7,8401	6	0,2709	91	33,304	1,180
36	1	2716,12	7,624	6	0,4346	146	50,523	1,870
	2	2716,12	7,624	6	0,3691	124	42,908	1,580
	3	2740,07	7,624	6	0,3036	102	35,294	1,290
	4	2740,07	7,624	6	0,2381	80	27,68	1,020
37	1	2782	7,7885	6	0,3066	103	37,198	1,340
	2	2782	7,7885	6	0,1965	66	23,84	0,860
	3	2779,56	7,7885	6	0,2798	94	33,946	1,230
	4	2779,56	7,7885	6	0,2977	100	36,118	1,300
38	1	2772,36	7,7888	6	0,2590	87	31,425	1,140
	2	2772,36	7,7888	6	0,3423	115	41,532	1,500
	3	2827,16	7,7888	6	0,3602	121	43,703	1,550
	4	2827,16	7,7888	6	0,3245	109	39,372	1,400

Çizelge 8.3: Torbalı Ges DC Kablolarda Güç Kaybı Ve Bağlı (%) Güç Kaybı Hesapları

Gölbaşı GES								
Evirici no	Dizi numarası	Dizi gücü Wp	Dizi DC akımı A	Kesit (mm2)	Kablo direnci (Ω)	Kablo mesafesi mt	Güç kaybı W	% güç kaybı
1	1	3104,83	7,472	6	0,1935	65	21,607	0,700
	2	3104,83	7,472	6	0,1786	60	19,943	0,650
	3	3109,15	7,500	6	0,1667	56	18,754	0,610
	4	3109,15	7,500	6	0,1548	52	17,415	0,570
2	1	3104,73	7,470	6	0,1191	40	13,294	0,430
	2	3104,73	7,470	6	0,1310	44	14,622	0,480
	3	3109,08	7,498	6	0,1489	50	16,744	0,540
	4	3109,08	7,498	6	0,1399	47	15,732	0,510
3	1	2968,42	7,392	6	0,3245	109	35,465	1,200
	2	2968,42	7,392	6	0,2947	99	32,208	1,090
	3	3093,91	7,468	6	0,2739	92	30,552	0,990
	4	3093,91	7,468	6	0,2471	83	27,563	0,900
4	1	2920,09	7,423	6	0,1102	37	12,145	0,420
	2	2920,09	7,423	6	0,1012	34	11,153	0,390
	3	2938,69	7,456	6	0,0953	32	10,597	0,370
	4	2938,69	7,456	6	0,0864	29	9,608	0,330
5	1	1979,92	4,193	6	0,1935	65	6,803	0,350
	2	1979,92	4,193	6	0,1816	61	6,385	0,330
	3	1582,93	3,959	6	0,1667	56	5,225	0,340
	4	1582,93	3,959	6	0,1548	52	4,852	0,310
6	1	2819,88	6,741	6	0,0804	27	7,307	0,260
	2	2819,88	6,741	6	0,0745	25	6,771	0,250
	3	2705,51	6,736	6	0,0685	23	6,217	0,230
	4	2705,51	6,736	6	0,1489	50	13,513	0,500
7	1	3108,3	7,535	6	0,1489	50	16,906	0,550
	2	3108,3	7,535	6	0,1489	50	16,906	0,550
	3	3217,07	7,605	6	0,1191	40	13,777	0,430
	4	3217,07	7,605	6	0,1191	40	13,777	0,430
8	1	3002,06	7,325	6	0,1340	45	14,379	0,480
	2	3002,06	7,325	6	0,1340	45	14,379	0,480
	3	3145,82	7,426	6	0,1012	34	11,163	0,360
	4	3145,82	7,426	6	0,1012	34	11,163	0,360
9	1	3113,29	7,605	6	0,2233	75	25,831	0,830
	2	3113,29	7,605	6	0,2233	75	25,831	0,830
	3	3190,85	7,672	6	0,1786	60	21,023	0,660
	4	3190,85	7,672	6	0,1786	60	21,023	0,660
10	1	3138,08	7,604	6	0,1429	48	16,527	0,530

	2	3138,08	7,604	6	0,1429	48	16,527	0,530
	3	3208,29	7,660	6	0,1012	34	11,878	0,380
	4	3208,29	7,660	6	0,1012	34	11,878	0,380
11	1	3134,21	7,648	6	0,2233	75	26,122	0,840
	2	3134,21	7,648	6	0,2233	75	26,122	0,840
	3	3206,37	7,708	6	0,1786	60	21,224	0,670
	4	3206,37	7,708	6	0,1786	60	21,224	0,670
12	1	3162,69	7,638	6	0,1429	48	16,675	0,530
	2	3162,69	7,638	6	0,1429	48	16,675	0,530
	3	3217,88	7,681	6	0,1012	34	11,941	0,380
	4	3217,88	7,681	6	0,1012	34	11,941	0,380
13	1	3171,79	7,635	6	0,1637	55	19,086	0,610
	2	3171,79	7,635	6	0,1637	55	19,086	0,610
	3	3229,28	7,704	6	0,1280	43	15,194	0,480
	4	3229,28	7,704	6	0,1280	43	15,194	0,480
14	1	1010,2	3,74433	6	0,0864	29	2,423	0,240

Çizelge 8.4: Gölbaşı Ges DC Kablolarda Güç Kaybı Ve Bağlı (%) Güç Kaybı Hesapları

EK-4

Torbalı

	PM10	ω ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{gün}$)	Tozlanma Kaybı (%)
Ocak	19,42	0,47	2,70
Şubat	16,50	0,40	2,30
Mart	15,73	0,38	2,19
Nisan	12,52	0,30	1,74
Mayıs	14,23	0,34	1,98
Haziran	13,43	0,32	1,87
Temmuz	17,70	0,42	2,46
Ağustos	36,47	0,88	5,08
Eylül	63,25	1,52	8,80
Ekim	45,65	1,10	6,35
Kasım	55,41	1,33	7,71
Aralık	91,81	2,20	12,78
Yıllık	33,51	0,81	3,97

Çizelge 8.5: Torbalı GES Aylık ve Yıllık Partiküler Madde, Toz Kütle Akısı ve Tozlanma Kaybı Değerleri

Gölbaşı

	PM10	ω ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)	Tozlanma Kaybı (%)
Nis.15	58,23	1,4	6,12
May.15	33,9	0,81	4,66
Haz.15	44,78	1,07	3,55
Tem.15	44	1,06	4,06
Ağu.15	33,44	0,8	4,77
Eyl.15	25,5	0,61	6,03
Eki.15	29,19	0,7	6,1
Kas.15	34,3	0,82	9,69
Ara.15	43,32	1,04	9,45
Oca.16	43,81	1,05	8,11
Şub.16	69,61	1,67	4,72
Mar.16	67,9	1,63	6,23
Yıllık	44	1,06	6,31

Çizelge 8.6: Gölbaşı GES Aylık ve Yıllık Partiküler Madde, Toz Kütle Akısı ve Tozlanma Kaybı Değerleri

EK-5

Gölbashi GES	Oca.16	Şub.16	Mar.16	Nis.15	May.15	Haz.15	Tem.15	Ağu.15	Eyl.15	Eki.15	Kas.15	Ara.15	Yıllık (kWh/m2/yıl)
Ortalama Sapma Açısı	-20,85	-13,33	-2,39	9,49	18,81	23,08	21,10	13,30	1,99	-9,85	-19,05	-23,10	-
Ortalama Yükselme Açısı	29,38	36,90	47,84	59,72	69,03	73,31	71,33	63,52	52,22	40,38	31,18	27,13	-
GHI (kWh/m2/ay)	63,86	80,36	126,48	145,20	187,24	206,70	221,96	193,75	152,10	107,26	69,30	52,70	1606,91
DHI (kWh/m2/ay)	26,04	32,20	46,81	58,20	64,17	58,50	55,80	50,22	40,80	35,65	27,30	23,87	519,56
DNI (kWh/m2/ay)	77,09	80,21	107,48	100,74	131,80	154,72	175,39	160,35	140,82	110,54	81,13	63,22	1383,469
Çati													
POAI	80,59	96,00	143,29	155,93	195,79	213,78	231,71	208,41	171,79	127,57	86,51	66,78	1778,15
POAI-u,ground	0,33	0,41	0,65	0,74	0,96	1,06	1,13	0,99	0,78	0,55	0,35	0,27	8,21312
POAI-u,sky	26,34	32,47	47,02	58,01	63,75	58,07	55,55	50,28	41,18	36,06	27,62	24,10	520,4437
POAI-d	53,92	63,12	95,63	97,18	131,08	154,65	175,03	157,14	129,83	90,96	58,53	42,41	1249,494
Arazi													
POAI	94,43	108,11	154,38	160,13	195,20	210,14	229,74	213,10	183,84	142,81	100,57	78,60	1871,049
POAI-u,ground	0,86	1,08	1,69	1,95	2,51	2,77	2,97	2,60	2,04	1,44	0,93	0,71	21,52851
POAI-u,sky	27,24	33,26	47,62	57,45	62,53	56,80	54,80	50,46	42,28	37,25	28,56	24,79	523,0345
POAI-d	66,34	73,78	105,07	100,74	130,16	150,57	171,97	160,04	139,52	104,12	71,08	53,10	1326,486
Otopark													
POAI	76,61	92,35	139,46	153,67	194,09	212,41	229,68	205,15	167,22	122,79	82,43	63,45	1739,306
POAI-u,ground	0,82	1,03	1,62	1,86	2,39	2,64	2,84	2,48	1,94	1,37	0,89	0,67	20,5328
POAI-u,sky	26,34	32,47	47,02	58,01	63,75	58,07	55,55	50,28	41,18	36,06	27,62	24,10	520,4437
POAI-d	49,45	58,86	90,83	93,81	127,95	151,70	171,30	152,39	124,10	85,37	53,92	38,67	1198,33

Çizelge 8.7: Gölbashi GES Aylık ve Yıllık Güneş Açılar ve Işınım Değerleri

EK-7

Gölbaşı Çatı	Nis.15	May.15	Haz.15	Tem.15	Ağu.15	Eyl.15	Eki.15	Kas.15	Ara.15	Oca.16	Şub.16	Mar.16	Yıllık
AOI	15,28	5,97	1,69	3,67	11,48	22,78	34,62	43,82	47,87	45,62	38,10	27,16	24,84
cos(AOI)	0,96	0,99	1,00	1,00	0,98	0,92	0,82	0,72	0,67	0,70	0,79	0,89	0,870846
IAM	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,972585
IAM Loss %	2,18	2,03	2,00	2,01	2,10	2,42	3,08	3,93	4,45	4,15	3,35	2,62	2,741545
Gölbaşı Arazı													
AOI	0,28	9,03	13,31	11,33	3,52	7,78	19,62	28,82	32,87	30,62	23,10	12,16	16,04
cos(AOI)	1,00	0,99	0,97	0,98	1,00	0,99	0,94	0,88	0,84	0,86	0,92	0,98	0,94551
IAM	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,977118
IAM Loss %	2,00	2,06	2,14	2,10	2,01	2,05	2,31	2,71	2,95	2,81	2,44	2,11	2,288153
Gölbaşı Otopark													
AOI	21,39	13,88	11,34	12,40	18,13	28,20	39,44	48,35	52,29	50,10	42,79	32,32	30,89
cos(AOI)	0,93	0,97	0,98	0,98	0,95	0,88	0,77	0,66	0,61	0,64	0,73	0,85	0,829975
IAM	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,95	0,95	0,95	0,96	0,97	0,969757
IAM Loss %	2,37	2,15	2,10	2,12	2,26	2,67	3,47	4,52	5,17	4,79	3,81	2,92	3,024274

Çizelge 8.8: Gölbaşı GES Çatı, Arazı ve Otopark Bölümleri için Aylık ve Yıllık Modüle Geliş Açısı ve Yansıma Kaybı Değerleri

EK-8

TORBALI GES						
	Inv1			Inv2		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	958227	1,275	12221,584	942773	1,254	11818,887
Şub.15	1175866	1,772	20841,776	1161068	1,748	20295,155
Mar.15	1589874	2,140	34021,031	1571278	2,112	33183,042
Nis.15	2418818	3,089	74722,058	2388867	3,050	72849,641
May.15	2737558	3,203	87674,194	2699407	3,157	85225,888
Haz.15	2754593	3,362	92610,953	2716843	3,315	90066,499
Tem.15	2988508	3,468	103643,800	2943930	3,416	100577,652
Ağu.15	2574918	2,978	76686,620	2535581	2,933	74359,199
Eyl.15	1952314	2,394	46746,481	1923375	2,358	45358,924
Eki.15	1592471	1,979	31511,416	1567816	1,947	30528,883
Kas.15	1119044	1,439	16103,952	1098140	1,412	15502,758
Ara.15	969538	1,153	11175,629	952225	1,132	10774,922
Yıllık	22831729	2,663	607959,493	22501303	2,624	590541,452
	Inv3			Inv4		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	932231	1,238	11544,756	927537	1,232	11427,415
Şub.15	1153923	1,737	20039,797	1150312	1,731	19911,966
Mar.15	1565498	2,104	32933,119	1561655	2,099	32772,459
Nis.15	2383626	3,043	72531,933	2380258	3,039	72335,422
May.15	2692684	3,149	84796,730	2691417	3,148	84718,378
Haz.15	2711279	3,309	89711,327	2709949	3,307	89612,279
Tem.15	2931543	3,403	99765,293	2932278	3,403	99789,480
Ağu.15	2512167	2,906	72992,655	2524641	2,920	73717,935
Eyl.15	1905797	2,337	44531,464	1912009	2,344	44819,743
Eki.15	1548208	1,923	29768,254	1554641	1,931	30018,704
Kas.15	1079991	1,389	14998,912	1082312	1,392	15064,255
Ara.15	928685	1,104	10250,552	930976	1,106	10300,161
Yıllık	22345632	2,613	583864,792	22357985	2,614	584488,194

	Inv5			Inv6		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	937486	1,250	11714,863	1030791	1,400	14434,893
Şub.15	1157966	1,745	20211,719	1219991	1,854	22624,240
Mar.15	1564536	2,105	32926,959	1598403	2,159	34508,315
Nis.15	2385015	3,046	72646,379	2419722	3,092	74814,606
May.15	2695882	3,153	84998,063	2724601	3,186	86819,299
Haz.15	2711440	3,309	89710,252	2728864	3,329	90848,266
Tem.15	2932889	3,403	99810,136	2952820	3,423	101080,432
Ağu.15	2527342	2,923	73872,088	2564028	2,965	76016,607
Eyl.15	1917789	2,351	45096,122	1969658	2,416	47585,521
Eki.15	1565162	1,945	30443,608	1649841	2,054	33887,264
Kas.15	1094672	1,409	15419,979	1213558	1,562	18954,456
Ara.15	947852	1,127	10685,330	1114196	1,330	14816,969
Yıllık	22438031	2,618	587535,499	23186473	2,658	616390,868
	Inv7			Inv8		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	957844	1,274	12206,212	942267	1,254	11813,953
Şub.15	1169874	1,761	20599,835	1153051	1,733	19980,451
Mar.15	1597732	2,153	34403,048	1576236	2,119	33403,396
Nis.15	2439994	3,117	76055,663	2399518	3,063	73496,532
May.15	2764745	3,235	89445,037	2707157	3,166	85705,694
Haz.15	2789501	3,405	94995,403	2724862	3,324	90578,000
Tem.15	3028873	3,516	106495,058	2951507	3,424	101062,289
Ağu.15	2606079	3,015	78561,555	2542530	2,940	74759,917
Eyl.15	1972648	2,420	47732,356	1933499	2,370	45824,972
Eki.15	1610333	2,003	32253,965	1577122	1,960	30910,729
Kas.15	1128615	1,452	16388,395	1106769	1,423	15746,429
Ara.15	977272	1,162	11358,084	961678	1,143	10994,986
Yıllık	23043510	2,693	620494,612	22576196	2,632	594277,347

	Inv9			Inv10		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	915878	1,214	11121,587	921123	1,225	11284,547
Şub.15	1129308	1,694	19125,960	811492	1,199	9731,224
Mar.15	1559712	2,094	32665,242	950818	1,273	12101,102
Nis.15	2383690	3,042	72521,829	2225925	2,934	65315,413
May.15	2691849	3,148	84739,195	2704120	3,162	85509,925
Haz.15	2713279	3,310	89821,337	2726037	3,326	90673,736
Tem.15	2932858	3,403	99816,592	2941763	3,414	100429,096
Ağu.15	2522456	2,917	73586,454	2531069	2,927	74091,605
Eyl.15	1908779	2,339	44654,094	1915489	2,348	44975,186
Eki.15	1545839	1,920	29683,799	1558984	1,938	30209,175
Kas.15	1068186	1,372	14660,341	1079086	1,388	14972,976
Ara.15	911968	1,084	9882,569	930580	1,106	10293,869
Yıllık	22283802	2,613	582278,999	21296486	2,581	549587,856
	Inv11			Inv12		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	914807	1,217	11133,946	1003378	1,361	13659,491
Şub.15	1100039	1,639	18033,115	1171492	1,776	20810,281
Mar.15	1563592	2,104	32892,250	1538015	2,074	31896,667
Nis.15	2390158	3,052	72955,656	2408017	3,078	74114,614
May.15	2691853	3,148	84730,674	2720340	3,181	86542,427
Haz.15	2713366	3,311	89831,070	2724522	3,324	90551,512
Tem.15	2927528	3,397	99441,660	2941228	3,409	100274,625
Ağu.15	2522796	2,918	73605,389	2556679	2,956	75579,657
Eyl.15	1914289	2,346	44915,625	1964971	2,409	47341,549
Eki.15	1560559	1,940	30277,549	1650158	2,056	33922,133
Kas.15	1082440	1,392	15067,906	1204936	1,550	18682,452
Ara.15	939647	1,117	10499,403	1109709	1,325	14703,180
Yıllık	22321074	2,614	583384,243	22993445	2,645	608078,590

	Inv13			Inv14		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	974680	1,298	12650,166	947189	1,257	11904,561
Şub.15	1185225	1,785	21159,366	1166094	1,752	20428,360
Mar.15	1602132	2,160	34606,289	1582743	2,127	33659,359
Nis.15	2446703	3,125	76470,525	2415007	3,082	74431,742
May.15	2770628	3,242	89826,937	2725079	3,187	86851,027
Haz.15	2796729	3,414	95488,454	2745233	3,349	91940,399
Tem.15	3039406	3,528	107225,210	2969948	3,445	102326,097
Ağu.15	2617027	3,027	79220,219	2555421	2,955	75516,733
Eyl.15	1982758	2,432	48222,355	1940016	2,378	46127,046
Eki.15	1622869	2,019	32763,764	1574398	1,956	30792,525
Kas.15	1140241	1,466	16721,452	1097306	1,409	15462,590
Ara.15	999627	1,189	11881,673	950867	1,130	10740,420
Yıllık	23178025	2,702	626236,409	22669301	2,648	600180,861
	Inv15			Inv16		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	944410	1,254	11847,393	967412,2973	1,290	12484,088
Şub.15	1165393	1,752	20418,156	1165961,649	1,755	20459,663
Mar.15	1579908	2,123	33536,353	1560258,324	2,100	32770,805
Nis.15	2412497	3,079	74275,781	2417762,135	3,087	74635,154
May.15	2718396	3,179	86417,285	2733835,351	3,197	87412,565
Haz.15	2687544	3,313	89027,867	2754455,216	3,361	92572,770
Tem.15	2959291	3,434	101618,100	2975607,649	3,451	102700,046
Ağu.15	2539636	2,938	74606,384	2565515,135	2,967	76113,510
Eyl.15	1923332	2,358	45348,555	1950321,486	2,391	46624,773
Eki.15	1570575	1,951	30649,146	1600684,622	1,990	31853,869
Kas.15	1090538	1,401	15280,960	1125090,649	1,446	16269,613
Ara.15	946341	1,125	10643,373	990958,4054	1,179	11679,459
Yıllık	22537861	2,634	593669,352	22807862,92	2,655	605576,314

	Inv17			Inv18		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	943184	1,256	11844,960	1046414	1,422	14881,706
Şub.15	1163685	1,752	20387,523	1145646	1,815	20788,222
Mar.15	1573491	2,116	33299,611	1548439	2,081	32224,333
Nis.15	2405956	3,072	73906,900	2440876	3,119	76120,244
May.15	2707823	3,167	85750,191	2760861	3,229	89141,761
Haz.15	2730409	3,331	90961,104	2764154	3,372	93194,020
Tem.15	2940668	3,412	100322,753	2977151	3,451	102727,812
Ağu.15	2533974	2,930	74257,554	2586473	2,990	77346,524
Eyl.15	1921433	2,355	45251,088	1987103	2,436	48403,578
Eki.15	1570668	1,953	30674,480	1673186	2,083	34851,249
Kas.15	1089133	1,400	15250,245	1223502	1,573	19246,741
Ara.15	951324	1,131	10760,472	1134847	1,354	15370,277
Yıllık	22531748	2,630	592666,882	23288652	2,681	624296,466
	Inv19			Inv20		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	973652	1,294	12594,695	967020	1,287	12441,959
Şub.15	1185856	1,784	21154,679	1179619	1,774	20924,823
Mar.15	1603536	2,160	34636,668	1589872	2,137	33980,285
Nis.15	2453116	3,133	76848,809	2424786	3,095	75037,205
May.15	2781598	3,255	90542,013	2732458	3,196	87326,970
Haz.15	2811206	3,432	96477,745	2757040	3,364	92738,297
Tem.15	3051398	3,541	108061,251	2983553	3,461	103246,867
Ağu.15	2622766	3,034	79568,495	2568471	2,970	76289,408
Eyl.15	1981006	2,430	48132,121	1949170	2,389	46567,627
Eki.15	1621070	2,016	32677,174	1596069	1,983	31654,321
Kas.15	1133782	1,457	16524,438	1120148	1,439	16120,849
Ara.15	987433	1,174	11593,794	981573	1,167	11451,913
Yıllık	23206419	2,710	628811,882	22849779	2,660	607780,521
	Inv21			Inv22		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	946679	1,256	11887,567	945008	1,254	11851,792
Şub.15	1167183	1,753	20457,299	1165582	1,750	20401,153
Mar.15	1582757	2,126	33645,432	1581105	2,123	33574,114
Nis.15	2418002	3,085	74607,049	2416828	3,084	74536,597
May.15	2724298	3,186	86799,506	2721927	3,183	86643,149
Haz.15	2751520	3,357	92371,650	2752113	3,358	92408,607
Tem.15	2969130	3,445	102277,885	2966039	3,441	102064,976
Ağu.15	2551896	2,951	75310,955	2522920	2,918	73610,594
Eyl.15	1928583	2,363	45580,463	1901139	2,329	44286,278

Eki.15	1576022	1,958	30854,835	1556189	1,933	30085,103
Kas.15	1092707	1,403	15335,489	1076018	1,382	14866,921
Ara.15	947438	1,126	10667,328	940168	1,117	10502,733
Yıllık	22656215	2,647	599795,459	22545036	2,638	594832,017
Inv23						
Inv24						
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	961918	1,283	12341,927	1052984	1,430	15061,372
Şub.15	1178661	1,775	20924,740	1212283	1,899	23020,222
Mar.15	1588313	2,138	33954,167	1251858	2,209	27655,375
Nis.15	2429686	3,102	75369,482	2469507	3,154	77890,069
May.15	2731526	3,195	87258,889	2774460	3,245	90032,913
Haz.15	2758915	3,367	92883,217	2781591	3,393	94385,086
Tem.15	2970202	3,445	102336,037	2994218	3,470	103897,807
Ağu.15	2559759	2,960	75775,046	2601297	3,007	78233,234
Eyl.15	1940375	2,378	46149,764	1997591	2,449	48919,690
Eki.15	1594043	1,982	31596,975	1683530	2,096	35291,417
Kas.15	1108756	1,426	15806,633	1231396	1,583	19491,844
Ara.15	976569	1,161	11342,471	1148055	1,370	15727,446
Yıllık	22798723	2,657	605739,348	23198770	2,714	629606,475
Inv25						
Inv26						
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	995800	1,328	13222,312	964013	1,281	12348,195
Şub.15	1204558	1,815	21865,511	1177888	1,769	20840,724
Mar.15	1615163	2,177	35166,732	1590025	2,137	33972,348
Nis.15	2463908	3,146	77526,815	2425185	3,095	75048,041
May.15	2786559	3,261	90861,487	2735934	3,200	87556,212
Haz.15	2819783	3,442	97067,794	2763158	3,372	93160,024
Tem.15	3057823	3,548	108502,796	2988656	3,466	103593,266
Ağu.15	2632444	3,045	80157,172	2569890	2,972	76372,297
Eyl.15	1993894	2,446	48761,998	1948051	2,387	46505,748
Eki.15	1646620	2,049	33732,822	1594481	1,981	31580,561
Kas.15	1161486	1,494	17352,323	1117411	1,435	16032,583
Ara.15	1028267	1,223	12577,458	977057	1,161	11343,412
Yıllık	23406305	2,721	636795,219	22851749	2,662	608353,414
Inv27						
Inv28						
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	967046	1,286	12437,524	935758	1,238	11581,649
Şub.15	1183098	1,778	21040,211	1160392	1,739	20184,123
Mar.15	1595443	2,144	34204,786	1581904	2,123	33582,451
Nis.15	2430808	3,101	75391,069	2416273	3,082	74469,394
May.15	2734923	3,199	87478,284	2726890	3,189	86958,936

Haz.15	2768552	3,378	93521,318	2766181	3,375	93370,471
Tem.15	2984693	3,462	103336,091	2975259	3,452	102702,457
Ağu.15	2565381	2,967	76106,788	2546565	2,945	74995,126
Eyl.15	1941741	2,379	46197,946	1920745	2,353	45192,970
Eki.15	1597167	1,984	31693,708	1566573	1,945	30475,185
Kas.15	1117121	1,435	16030,948	1076879	1,382	14886,970
Ara.15	980466	1,165	11425,490	930064	1,105	10273,094
Yıllık	22866439	2,663	608864,164	22603483	2,649	598672,826
			Inv29		Inv30	
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	954448	1,270	12117,090	1065684	1,448	15426,697
Şub.15	1173934	1,764	20714,055	1249733	1,896	23691,810
Mar.15	1587360	2,134	33878,500	1633426	2,205	36020,632
Nis.15	2417862	3,085	74594,645	2477911	3,165	78416,234
May.15	2710709	3,169	85901,484	2783770	3,256	90637,591
Haz.15	2745838	3,349	91951,200	2791440	3,404	95029,664
Tem.15	2946012	3,417	100659,131	3007297	3,484	104763,321
Ağu.15	2542204	2,940	74734,140	2619163	3,028	79309,703
Eyl.15	1932133	2,367	45741,051	2010435	2,464	49546,328
Eki.15	1585250	1,970	31232,554	1695454	2,111	35786,529
Kas.15	1096182	1,408	15438,819	1241348	1,596	19807,209
Ara.15	965049	1,146	11063,713	1155150	1,379	15929,698
Yıllık	22656981	2,639	598026,384	23730811	2,715	644365,417
			Inv31		Inv32	
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	987427	1,316	12992,992	973240	1,293	12586,915
Şub.15	1199367	1,808	21689,093	1187083	1,783	21166,301
Mar.15	1615541	2,180	35220,458	1603204	2,155	34553,751
Nis.15	2473817	3,161	78187,253	2447428	3,123	76443,107
May.15	2804137	3,282	92027,303	2766215	3,236	89517,495
Haz.15	2842460	3,471	98669,837	2793094	3,408	95202,065
Tem.15	3086791	3,581	110547,788	3020430	3,503	105798,963
Ağu.15	2657137	3,074	81667,298	2593777	2,999	77799,756
Eyl.15	2010512	2,466	49588,579	1964038	2,407	47277,240
Eki.15	1650923	2,055	33922,922	1607383	1,997	32101,438
Kas.15	1156800	1,488	17218,126	1124496	1,444	16240,496
Ara.15	1018371	1,211	12333,671	985420	1,171	11538,375
Yıllık	23503283	2,740	644065,320	23065808	2,689	620225,901

	Inv33			Inv34		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	963438	1,282	12355,799	967657	1,291	12487,849
Şub.15	1180281	1,775	20955,618	1183143	1,781	21074,396
Mar.15	1593456	2,144	34157,489	1594500	2,147	34228,101
Nis.15	2436819	3,111	75802,064	2439738	3,115	76003,530
May.15	2752623	3,220	88634,981	2751658	3,219	88571,408
Haz.15	2784386	3,398	94627,273	2782177	3,396	94481,996
Tem.15	3003628	3,484	104645,186	2999268	3,478	104320,816
Ağu.15	2582656	2,987	77139,801	2580857	2,985	77029,077
Eyl.15	1951875	2,392	46695,862	1954681	2,396	46833,210
Eki.15	1604421	1,995	32003,311	1607523	1,999	32135,365
Kas.15	1114456	1,433	15966,736	1116856	1,436	16036,129
Ara.15	979370	1,164	11403,048	989861	1,177	11645,769
Yıllık	22947409	2,677	614387,167	22967919	2,677	614847,645
	Inv35			Inv36		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	1069701	1,456	15570,768	947831	1,261	11948,012
Şub.15	1252956	1,904	23854,784	1163005	1,756	20417,615
Mar.15	1635437	2,211	36159,783	1569379	2,113	33164,452
Nis.15	2485914	3,176	78956,440	2358386	3,008	70943,198
May.15	2804906	3,282	92046,187	2660398	3,111	82766,189
Haz.15	2813905	3,434	96632,247	2674421	3,257	87100,693
Tem.15	3037704	3,519	106896,050	2859175	3,318	94856,429
Ağu.15	2641756	3,054	80685,542	2492323	2,882	71836,943
Eyl.15	2032036	2,491	50625,240	1924095	2,357	45351,327
Eki.15	1712280	2,133	36530,370	1570516	1,954	30684,443
Kas.15	1253377	1,612	20200,899	1097582	1,413	15508,998
Ara.15	1174678	1,402	16471,561	939529	1,119	10516,744
Yıllık	23914650	2,737	654629,871	22256640	2,584	575095,044
	Inv37			Inv38		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.15	970433	1,290	12523,137	944299	1,249	11792,225
Şub.15	1186495	1,788	21216,538	1169039	1,754	20510,594
Mar.15	1596091	2,146	34252,089	1597126	2,146	34281,834
Nis.15	2399439	3,058	73377,531	2427139	3,094	75102,672
May.15	2710447	3,168	85866,397	2752072	3,218	88561,967
Haz.15	2731123	3,325	90817,069	2777336	3,384	93980,558
Tem.15	2923135	3,389	99064,605	2980883	3,451	102882,924
Ağu.15	2534061	2,930	74249,393	2585920	2,989	77295,773
Eyl.15	1946697	2,383	46391,682	1987839	2,435	48408,609

Eki.15	1598418	1,986	31746,068	1568569	1,952	30625,331
Kas.15	1121193	1,442	16162,080	1071891	1,377	14756,174
Ara.15	977415	1,163	11367,453	926196	1,103	10216,486
Yıllık	22694947	2,631	597034,042	22788309	2,670	608415,147

Çizelge 8.9: Torbalı GES DC Enerji, Uyuşmazlık Kaybı Yüzdelik ve kWh Cinsinden Değerler

EK-9

GÖLBAŞI GES Çatı						
Inv1			Inv2			
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	910749	1,382	12587,25134	691170	1,049	7250,580799
Şub.16	1409170	2,014	28381,42487	1416727	1,929	27327,12701
Mar.16	2019808	2,464	49759,6891	1739650	2,172	37786,84595
Nis.15	2410779	2,761	66550,65494	2408783	2,732	65805,75752
May.15	2498842	2,850	71218,79915	2496648	2,824	70505,93774
Haz.15	2168043	2,508	54374,77915	2116778,75	2,417	51161,05587
Tem.15	2920878	3,037	88717,34128	2905377	3,000	87164,09159
Ağu.15	2626765	2,816	73961,52547	2585753,5	2,752	71159,41056
Eyl.15	2216121	2,444	54164,03954	2280566	2,494	56871,41868
Eki.15	1720525	2,075	35693,67333	1645313	1,969	32404,27418
Kas.15	1368009	1,704	23308,12657	1437250	1,741	25027,63264
Ara.15	904631	1,289	11660,15426	874226,2	1,133	9908,393864
Yıllık	23174320,000	2,461	570377,459	22598242,45	2,400	542372,526
Inv3			Inv4			
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	916946	1,291	11837,30612	690663	1,096	7571,80217
Şub.16	1314891	1,859	24439,63141	1283204	1,734	22254,02134
Mar.16	1920730	2,331	44779,35855	1812669	2,211	40072,15794
Nis.15	2350907	2,669	62738,67564	2314243	2,590	59931,94722
May.15	2480883	2,818	69904,8803	2420447	2,708	65537,59961
Haz.15	2122151	2,443	51849,12113	2114330	2,399	50732,31365
Tem.15	2875099	2,975	85537,82035	2843971	2,901	82514,02799
Ağu.15	2559889	2,733	69957,04992	2524373	2,656	67035,07717
Eyl.15	2100108	2,303	48372,70589	2068363	2,240	46327,47483
Eki.15	1593226	1,904	30340,74196	1515192	1,772	26845,79666
Kas.15	1246852	1,536	19151,83833	1168522	1,417	16553,55031
Ara.15	821380	1,143	9386,889697	808621	1,053	8515,203705
Yıllık	22303062,000	2,369	528296,019	21564598,000	2,290	493890,973

	Inv5		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	447306	1,571	7025,896292
Şub.16	789305	2,325	18348,61505
Mar.16	1078990	2,844	30681,35254
Nis.15	1348944	3,267	44064,79954
May.15	1382936	3,355	46395,50833
Haz.15	1205484	2,963	35716,03983
Tem.15	1595653	3,539	56469,01252
Ağu.15	1425307	3,260	46463,40976
Eyl.15	1187794	2,784	33065,20744
Eki.15	913821	2,323	21225,30868
Kas.15	741767	1,952	14476,16751
Ara.15	534242	1,558	8321,41768
Yıllık	12651549,000	2,863	362252,735

GÖLBAŞI GES Arazi						
	Inv6			Inv7		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	316430	1,603	5071,267616	1024494	1,784	18279,33567
Şub.16	400964	2,038	8170,078703	1516712	2,410	36548,93691
Mar.16	616480	2,738	16877,16541	1991717	2,829	56338,90286
Nis.15	773450	3,184	24626,37547	2401204	3,089	74184,12488
May.15	789133	3,286	25929,51204	2422754	3,128	75772,29604
Haz.15	656199	2,756	18082,14344	2025253	2,635	53368,1568
Tem.15	863973	3,258	28151,13832	2619873	3,075	80559,39905
Ağu.15	781634	3,044	23794,41653	2511884	3,047	76531,8072
Eyl.15	581675	2,334	13577,22615	2269266	2,817	63935,36925
Eki.15	389500	1,661	6470,480685	1768564	2,427	42930,3768
Kas.15	362571	1,629	5907,511093	1533455	2,179	33406,41453
Ara.15	258533	1,294	3344,534715	1104895	1,799	19874,785
Yıllık	6790542,000	2,651	180001,850	23190071,000	2,724	631729,905
	Inv8			Inv9		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	902063	1,584	14288,59705	1109269	1,832	20318,25272
Şub.16	1431605	2,211	31658,45934	1433088	2,317	33208,28261
Mar.16	1972963	2,732	53909,23022	2029699	2,804	56906,18341
Nis.15	2376437	2,974	70676,21809	2355031	3,009	70859,43686
May.15	2399713	3,017	72397,91403	2407849	3,086	74316,65008
Haz.15	2057102	2,609	53669,88471	2041972	2,643	53968,52743
Tem.15	2769408	3,161	87537,99523	2686282	3,134	84183,63914

Ağu.15	2557361	3,016	77124,36733	2501762	3,014	75412,99129
Eyl.15	2235546	2,703	60426,66639	2194450	2,705	59367,51091
Eki.15	1629464	2,163	35247,25444	1729604	2,356	40752,96173
Kas.15	1177513	1,593	18760,74204	1389648	1,945	27035,5742
Ara.15	807930	1,159	9366,155152	893182	1,435	12818,7635
Yıllık	22317105,000	2,622	585063,484	22771836,000	2,675	609148,774

	Inv10			Inv11		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	1058764	1,816	19223,45869	1070508	1,830	19590,051
Şub.16	1456502	2,305	33572,2147	1466395	2,311	33889,17649
Mar.16	1947486	2,747	53502,67027	1946822	2,800	54518,88371
Nis.15	2358340	3,009	70973,93765	2356706	3,008	70893,0659
May.15	2390590	3,062	73206,64004	2379668	3,046	72475,88945
Haz.15	2055616	2,657	54625,06326	2043226	2,639	53922,84358
Tem.15	2728374	3,178	86700,67301	2726860	3,173	86522,02845
Ağu.15	2506788	3,014	75566,11831	2522399	3,030	76425,63422
Eyl.15	2215798	2,727	60422,38047	2219475	2,732	60639,02525
Eki.15	1724900	2,345	40444,59979	1729587	2,348	40609,81603
Kas.15	1390640	1,949	27108,38343	1393937	1,951	27196,18958
Ara.15	934139	1,455	13594,05486	940744	1,464	13777,14795
Yıllık	22767937,000	2,675	608940,194	22796327,000	2,678	610459,752
	Inv12			Inv13		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	1060880	1,818	19291,78387	1056422	1,812	19138,11729
Şub.16	1476307	2,336	34479,76891	1474147	2,335	34422,23731
Mar.16	1957424	2,757	53974,74456	1979916	2,796	55360,12358
Nis.15	2366881	3,025	71607,03634	2378635	3,037	72247,51204
May.15	2405110	3,082	74113,68828	2399897	3,073	73752,21894
Haz.15	2063448	2,667	55042,24024	2064318	2,668	55077,69031
Tem.15	2799316	3,257	91180,81871	2788649	3,244	90451,78023
Ağu.15	2563246	3,079	78911,28016	2578738	3,098	79884,86003
Eyl.15	2226340	2,740	61005,21385	2252338	2,773	62458,77719
Eki.15	1745758	2,373	41424,44611	1745549	2,370	41366,88332
Kas.15	1391940	1,951	27161,34375	1381457	1,931	26682,66603
Ara.15	928036	1,437	13338,08924	920836	1,427	13136,44885
Yıllık	22984686,000	2,704	621530,454	23020902,000	2,710	623979,315

	GÖLBAŞI GES Otopark			GÖLBAŞIGES Toplam		
	Inv14			Inv 1-14		
	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)	DC Enerji (kWh)	MML (%)	MML (kWh)
Oca.16	543522	1,171	6364,507094	12018765	1,563	187838,2077
Şub.16	1220368	1,715	20931,15828	18081828	2,144	387631,1329
Mar.16	1750669	2,205	38606,04194	25045181	2,568	643073,35
Nis.15	2335175	2,772	64720,97582	30532345	2,915	889880,5179
May.15	2468018	2,897	71486,50088	31344682	2,989	937014,0349
Haz.15	2188440	2,625	57453,267	26973625	2,592	699043,1264
Tem.15	2818769	3,033	85503,72109	35957983	3,118	1121193,487
Ağu.15	2441044	2,700	65917,61529	32727955	2,928	958145,5632
Eyl.15	1898928	2,159	41000,53963	27882323	2,588	721633,5555
Eki.15	1395915	1,679	23440,78981	21322130	2,154	459197,4035
Kas.15	1036539	1,310	13582,21348	16950859	1,801	305358,3535
Ara.15	780065	1,035	8076,968744	11541865	1,344	155119,0072
Yıllık	20877452,000	2,381	497084,299	290379541,000	2,571	7465127,740

Çizelge 8.10: Gölbaşı GES Otopark, Çatı ve Arazi Bölümlerinde DC Enerji, Uyuşmazlık Kaybı Yüzdelik ve kWh Cinsinden Değerler

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Sinan ŞİMŞEK
Doğum Yeri : Ankara / TÜRKİYE
Medeni Hali : Bekar
E-posta : sinansimsek90s@gmail.com

Eğitim

Lise : Gölbaşı Anadolu Lisesi
Lisans : Bilkent Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi, Temiz Tükenmez Enerjiler

Yabancı Dil Düzeyi

İngilizce – İleri Düzey
Fransızca – Orta Düzey

İş Deneyimi

2016-... Else Enerji – Şantiye Şefi, İşletme Bakım Mühendisi
2015-2016 Altun Grup Solar Enerji – Şantiye Şefi, Proje Mühendisi
2014 AF Mercados – Proje Mühendisi

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEMİZ-TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 5/09/2018

Tez Başlığı / Konusu: Fotovoltaik Sistemlerde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 99 sayfalık kısmına ilişkin, 5/09/2018. tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 0 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: Sinan ŞİMŞEK
Öğrenci No: N14120828
Anabilim Dalı: Temiz-Tükenmez Enerjiler
Programı: Temiz-Tükenmez Enerjiler
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

5.09.2018

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof.Dr. Necdet BAŞTÜRK

(Unvan, Ad Soyad, İmza)