



POLATLI ÇATI ÜSTÜ ÖRNEK PV SİSTEM FİZİBİLTE ÇALIŞMASI
Yüksek Lisans Tezi

Muhammed SAKARYA

Eskişehir 2021

POLATLI ÇATI ÜSTÜ ÖRNEK PV SİSTEM FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Muhammed SAKARYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Enerji Kaynakları ve Yönetimi Bilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Zafer DEMİR**

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Temmuz 2021**

ÖZET

POLATLI ÇATI ÜSTÜ ÖRNEK PV SİSTEM FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Muhammed SAKARYA

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Enerji Kaynakları ve Yönetimi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Temmuz 2021

Danışman: Prof. Dr. Zafer DEMİR

Yenilenebilir enerji kaynakları, son zamanlarda fosil yakıtların azalması ve çevre protokolleri ile birlikte adından çokça söz ettirmektedir. Güneş enerjisi de ulaşılması kolay temiz ve çevreci bir enerji üretim sistemidir. Güneş ışınlarını yarıiletken aygıtlar kullanan fotovoltaik paneller sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülen sistemlere fotovoltaik sistemler denir. Yapılan bu çalışmada, Ankara'nın Polatlı ilçesin de bulunan bir sanayi tesisinin, lisanslı 19,6 MW kojenerasyon tesisinde üretilen elektrik enerjisinin bir kısmının sanayi tesisi binalarının çatıları kullanılarak, hibrit enerji santrali ile karşılanması istenmesi durumunda tasarlanan sistemden üretilebilecek enerji miktarının, sistem performansının ve tasarlanan sistemin ekonomik analizleri yapılarak işletmeye nasıl bir katkı sağlayacağı amaçlanmıştır. fotovoltaik sistemler tasarlanırken, tasarımı yapılacak bölgenin konumu, güneşlenme değerleri, kullanılacak panel ve eviricilerin özellikleri gibi çok sayıda dikkat edilmesi gereken husus vardır. Tasarlanan fotovoltaik sistemleri gerçeğe yakın tasarlamak ve oluşabilecek sorunları önceden belirlemek için çok sayıda tasarım programları bulunmaktadır. Bu çalışmada PVsyst 7.1.1 simülasyon programı seçilmiştir. yerli üreticiden tedarik edilebilecek bir 395W gücünde monokristal fotovoltaik panel ve çatı uygulamalarında gerekli emniyet önlemleri alınan 33,3 kW gücünde power optimizerli evirici ve 100 kW geleneksel evirici seçilmiştir. Bu doğrultuda sistemin kurulu gücü 7690 kWp, tasarım ve simülasyon sonucuna göre sistemin üreteceği enerji birinci senaryo için 10.395 MWh, ikinci senaryo için ise 10.195 MWh 'dir. ekonomik analiz sonuçlarına göre sistemin amortismanı, geri ödeme süresi yöntemine göre birinci senaryo için 6,4 yıl, ikinci senaryo için ise 6 yıl olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik sistem, Fotovoltaik fizibilite, Çatı üstü PV sistem.

ABSTRACT

POLATLI ROOFTOP SAMPLE PV SYSTEM FEASIBILITY STUDY

Muhammed SAKARYA

Department of Advanced Technologies
Programme in Energy Resources and Management

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, July 2021

Supervisor: Prof. Dr. Zafer DEMİR

Renewable energy sources, fossil fuel reduction and environmental protocols made a name for itself. Solar energy is also an easy-to-reach clean and environmentally friendly energy generation system. Photovoltaic systems are the conversion of sunlight coming directly to the Earth into electrical energy with Photovoltaic panels thanks to semiconductor elements. In this study, an industrial facility located in Polatlı district of Ankara, part of the electrical Energy generated in the 19.6 MW cogeneration plant, using industrial plant buildings roofs the amount of energy that can be produced from the system if it is desired to be met by hybrid energy, The economic analysis of the system performance and the designed system is aimed to make a contribution to the business. When designing photovoltaic systems, there are many issues to be considered such as the location of the area to be designed, insolation values, the characteristics of the panels and inverters to be used. There are many design programs to design the designed Photovoltaic systems as close to reality and to determine the problems that may occur. In this study, PVsyst 7.1.1 simulation program was chosen.

A 395 W Monocrystalline Photovoltaic panel available from a local manufacturer and a 33.3 kW inverter and a 100 kW inverter, for which necessary safety precautions were taken in roof applications, were selected. Accordingly, the installed power of the system is 7690 kWp, According to the design and simulation results, the energy to be generated by the system is 10,395 MWh for the first scenario and 10,195 MWh for the second scenario. According to the results of the economic analysis, the depreciation of the system was determined as 6.4 years for the first scenario and 6 years for the second scenario according to the payback period method.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic system, Photovoltaic feasibility, Rooftop PV system

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında zamanını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zafer DEMİR' e teşekkür etmeyi borç bilirim.

Bu güzel çalışma ortamını hazırladıkları ve yaptığım çalışmalara göstermiş oldukları destekler için başta Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş. Fabrika Müdürü Sayın Dr. Feridun ÖZHAN' a, Müdür Yardımcım Sayın Bünyamin KILIÇARSLAN' a ve Şefim Sayın Kurtuluş TÜFEKÇİ' ye ve emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Yoğun çalışmalarım sırasında gerekli özveriye ve sabrı gösteren sevgili eşim Müzeyyen'e ve yıl sonunda kucağımıza alacağımız canım kızım Nil'e. Beni bugünlere getiren şimdiye kadar maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim canım aileme, tüm kalbimle teşekkür ederim.

Muhammed SAKARYA

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Muhammed SAKARYA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
GÖRSELLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Fotovoltaik Sistem.....	1
1.2. Dünya’da ve Türkiye’de Fotovoltaik Sistem Tarihçesi	3
1.3. Fotovoltaik Hücre Türleri	7
1.4. Fotovoltaik Sistem Türleri	9
1.4.1. Şebekeye bağlı (on-grid) sistem.....	9
1.4.2. Şebekeden bağımsız (off-grid)) sistem	10
2. TÜRKİYE’DE GÜNEŞ ENERJİSİ İLE İLGİLİ YÖNETMELİKLER	11
2.1. Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretim Yönetmeliği	11
2.2. Elektrik Piyasasında Lisans Yönetmeliği	15
3. PVSYST İLE ÇATI ÜSTÜ PV SANTRAL MODELLEMESİ VE SİSTEM TASARIMI	20
3.1. Fizibilitesi Yapılan Sanayi Tesisi	20
3.2. PVsyst Benzetim Programı Yardımıyla Sistem Modellemesi	22
3.3. Panel Yerleştirilecek Çatıların Ölçülerinin Alınması.....	29
3.4. Panel Eğim ve Azimut Açısının Belirlenmesi	33
3.5. Sistemde Kullanılacak Panel ve Eviricilerin Belirlenmesi	34
3.6. PV Panel Kapasite Seçimi	36
3.7. Teknik Değerlendirme	39

3.7.1. Mekanik montaj ve tasarımı	39
3.7.2. Elektrik montaj ve tasarımı.....	41
3.7.3. Kullanılacak olan panel ve evirici özellikleri	48
4. ANKARA POLATLIDA 7690 KWP GÜCÜNDE ÇATI ÜSTÜ PV	
SANTRAL FİZİBİLİTESİ.....	53
4.1. Üretim Analizi	53
4.2. Risk Analizi.....	56
4.3. Ekonomik Analiz.....	61
4.3.1. Sistem maliyeti.....	61
4.3.2. Net bugünkü değer yöntemi	63
4.3.3. Geri ödeme süresi yöntemi	65
4.3.4. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti.....	65
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	71
KAYNAKÇA.....	75
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. 2019 Yılı ülkelere göre güneş enerjisi kurulu gücü	5
Tablo 1.2. Türkiye Temmuz 2020 kurulu gücü ve enerji çeşitlerine göre dağılımı.....	7
Tablo 1.3. Hücreleri oluşturun materyaller ve verim oranları	8
Tablo 3.1. PVSYST programı tasarım akış tablosu	29
Tablo 3.2. Fotovoltaik panel standard test koşulları elektriksel özellikler	48
Tablo 3.3. Fotovoltaik panel nominal hücre çalışma sıcaklığı elektriksel özellikler.....	49
Tablo 3.4. Fotovoltaik panel sistem özellikleri.....	49
Tablo 3.5. Fotovoltaik panel mekanik özellikler	49
Tablo 3.6. Optimizerli 33.3kW Evirici teknik özellikleri	50
Tablo 3.7. Geleneksel evirici teknik özellikleri	50
Tablo 4.1. ORS risk tablosu	59
Tablo 4.2. Uygulama-A sistem maliyeti özeti	61
Tablo 4.3. Uygulama-B sistem maliyeti özeti.....	62
Tablo 4.4. Uygulama-A nakit akış 0-10 yıl.....	67
Tablo 4.5. Uygulama-A nakit akışı 11-20 yıl	68
Tablo 4.6. Uygulama-B nakit akışı 0-10 yıl.....	69
Tablo 4.7. Uygulama-B nakit akışı 11-20 yıl.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. PV sistem çalışma prensibi.....	2
Şekil 1.2. Türkiye Temmuz 2020 kurulu gücü ve enerji çeşitlerine göre dağılımı	6
Şekil 1.3. Şebekeye bağlı (on-grid) sistem çalışma prensibi	9
Şekil 1.4. Şebekeden bağımsız (off-grid) sistem çalışma prensibi.....	10
Şekil 3.1. ORS 2020 yılı üretilen ve tüketilen elektrik enerji grafiği	21
Şekil 3.2. YGEM üzerinden alınan meteorolojik veriler.....	28
Şekil 3.3. ORS GES şematik gösterimi	45
Şekil 3.4. Fabrika-3 GES orta gerilim tek hat şeması	46
Şekil 3.5. Fabrika-4 GES orta gerilim tek hat şeması	47
Şekil 3.6. Optimizerli ve geleneksel evirici dizi yerleşimleri.....	52
Şekil 4.1 PVsyst analiz sonucuna göre kayıp diyagramı.....	53
Şekil 4.2. Aylık ve yıllık olarak simülasyondan elde edilmiş ısıma, enerji ve ortalama sıcaklık değerleri	55
Şekil 4.3. Aylara göre ortalama referans verim.....	56
Şekil 4.4. Performans oranının aylara göre değişimi.....	56
Şekil 4.5. Tasarım aşamasındaki risklerin dağılımı.....	58
Şekil 5.1. Uygulama-A için yıllık gelir ve tasarrufu	72
Şekil 5.2. Uygulama-B için yıllık gelir ve tasarruf.....	72
Şekil 5.3. Uygulama-A için geri ödeme zamanı.....	73
Şekil 5.4. Uygulama-B için geri ödeme zamanı	73

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş.	20
Görsel 3.2. PVsyst ana sayfası	23
Görsel 3.3. PVsyst Preliminary design sayfası	24
Görsel 3.4. PVsyst Databases sayfası	25
Görsel 3.5. PVsyst Tools sayfası.....	26
Görsel 3.6. Şebeke bağlantılı proje yönetimi sayfası.....	27
Görsel 3.7. PVsyst üzerinden coğrafi konum belirlenmesi.....	27
Görsel 3.8. PVsyst üzerinden alınan meteorolojik veriler	28
Görsel 3.9. Ortadoğu Rulman Sanayi kullanılacak olan çatılar	29
Görsel 3.10. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-3 çatı ölçüsü.....	30
Görsel 3.11. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-3 çatı görseli	31
Görsel 3.12. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-4a-b-c çatı ölçüsü	31
Görsel 3.13. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-4a-b çatı görseli	32
Görsel 3.14. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-4c çatı kesiti.....	32
Görsel 3.15. PVsyst eğim ve azimut açılarının belirlenmesi	34
Görsel 3.16. PVsyst panel ve optimizierli evirici ve optimizier seçim ekranı	35
Görsel 3.17. PVsyst panel ve geleneksel evirici seçim ekranı	36
Görsel 3.18. Fabrika 3 çatı panel yerleşimi.....	37
Görsel 3.19. Fabrika 4A-4B çatı panel yerleşimi.....	38
Görsel 3.20. Fabrika 4C çatı panel yerleşimi	38
Görsel 3.21. Panel montajında kullanılacak ekipmanlar.....	40
Görsel 3.22. Örnek sandviç panel çatı montaj resmi-1	40
Görsel 3.23. Örnek sandviç panel çatı montaj resmi-2	41
Görsel 3.24. Fabrika 3 çatı yürüme yolları	42

Görsel 3.25. Fabrika 4A-4B-4C çatı yürüme yolları.....	42
Görsel 3.26. Fabrika 3 evirici montaj yeri	43
Görsel 3.27. Fabrika 4A-4B evirici montaj yeri	44
Görsel 3.28. Fabrika 4C evirici montaj yeri.....	44



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AVM	: Alışveriş Merkezi
BES	: Biyogaz Enerji Santrali
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
GES	: Güneş Enerji Santrali
GW	: Gigawat
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
JES	: Jeotermal Enerji Santrali
kWh	: Kilowat Saat
kWh/m ² /gün	: Kilowatsaat/metrekare/gün
MW	: Megawat
MWh	: Megawat Saat
ORS	: Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş.
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
PV	: Fotovoltaik
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kanunu
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında Ankara/Polatlı bölgesinde kurulu bir fabrikanın 19,6 Megawatt (MW) kapasiteli ve bağlantı anlaşması bulunan kojenerasyon tesisinin, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından çıkarılan ikinci yakıt kaynağı tedariki kapsamında, 75000 m² fabrika çatısına yerleştirilecek olan Fotovoltaik paneller (PV) ile üretilecek güneş enerjisinin Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK) 'nda belirlenen kıstaslar kullanılmış ve üretilcek güneş enerjisinin tüketim de kullanıldığı varsayılarak üretim analizi, risk analizi ve ekonomik analiz yapılarak fizibilitesi yapılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde, Türkiye'nin Lisanssız Elektrik  retim Yönetmeliği ve Lisanslı Elektrik  retim yönetmeliği kısaca incelenmiş, lisanslı bir elektrik santralinin ikincil kaynak olarak güneş enerjisi seçilirken nasıl bir yol izlenmeli, santralin koordinat tadilatı ve lisans tadilatı için gerekli evraklar ve izlenecek yol bu bölüm de belirtilmiştir. Tezin    nc  bölümünde ise fabrika da Fotovoltaik panel yapılacak olan çatılar belirlenmiş ve bu çatılara PVsyst 7.1.1. yazılımı ile farklı iki evirici kullanılarak, iki uygulama için simülasyon yapılmış ve fabrikanın yıllık üreteceği enerji miktarı bu iki uygulama için belirlenmiştir. Dördüncü bölüm de ise simülasyon sonucunun analizi yapılmış, daha sonra kurulması planlanan Fotovoltaik santral fabrika için nasıl riskler oluşturacak bu riskler önem sırasına göre analiz edilmiştir. Dördüncü bölümün sonun da iki farklı evirici tipi için sistem maliyetleri belirlenmiş ve bu maliyetlere göre belirtilen kıstaslar kullanılarak ekonomik analiz yapılmıştır. Beşinci bölümde ise yapılan iki farklı uygulamanın değerlendirmesi yapılmıştır.

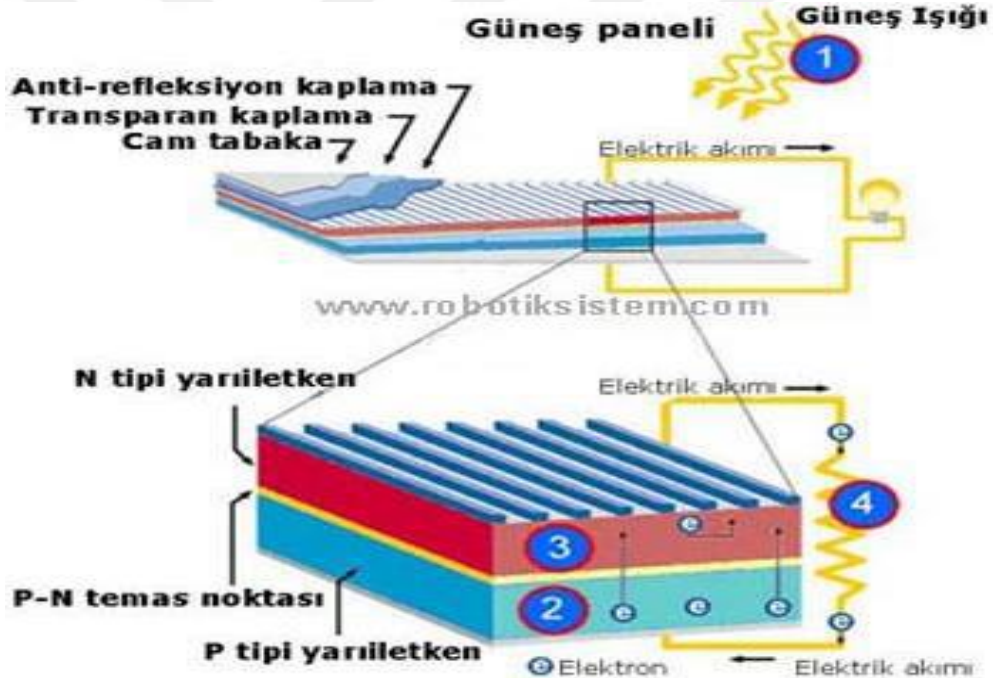
1.1. Fotovoltaik Sistem

Fotovoltaik (PV), Güneş enerjisinden gelen ışınları silikon tabanlı yarıiletken aygıtlar gibi bazı materyaller kullanarak elektrik akımına bununda elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere fotovoltaik adı verilir.

Fotovoltaik güneş hücreleri, üzerine güneş ışını düştüğünde ışını doğru akım (DA) elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken aygıtlardan oluşan sistemlerdir. Güneş pilleri fotovoltaik etkiye dayalı olarak çalışırlar. Bir güneş pilinin yüzeyine güneş ışınları düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Y zerleri kare, dikdörtgen ve daire şeklinde biçimlendirilir. Modüllere ve panellere monte edilmiş hücreler kendi aralarında seri veya paralel bağlanarak istenilen akım ve gerilim değerlerine ulaştırılır [1].

PV hücreleri genellikle, arsenik, indiyum, kadmiyum, silikon, selenyum ve galyum gibi elementler kullanılarak yapılan yarıiletken aygıtlardır. Hücre yapımında çoğunlukla silikon ve selenyum kullanılır. Bu hücrelerin yapısı da p-n yarı iletkenlerden oluşan diyota benzer.

Güneş ışınlarının bir miktarı fotovoltaik hücreler tarafından soğurulur bir miktarı ise geldiği gibi soğurulmadan tekrar yansır. Güneş ışınlarının hücreler tarafından soğurulan fotonlar ile n katmanından kopan elektronlar p katmanına doğru hareket ederler. N ve P tipi arasındaki bu olay iki tarafta da yük dengesi sağlanıncaya kadar devam eder ve bir voltaj beslemesi oluşturur. Gelen fotonlar soğurulduğunda elektronlar pozitif tarafa, boşluklar ise negatif tarafa doğru hareket ederler. Bu durum da elektrik enerjisi açığa çıkar. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1. PV sistem çalışma prensibi [2]

Fotovoltaik sistemler avantaj ve dezavantajları;

- Güneş enerjisi, yenilenebilir bir kaynaktır ve dünyanın her yerinde mevcuttur. Fakat fosil yakıtlar kadar enerji sürekliliğine sahip değildir. Örneğin, meteoroloji verilene göre yapılan hesaplar ve varsayımlara göre üretilebilecek yıllık maksimum enerji verileri hesaplanmaktadır. Ama bu güneşlenmenin olacağı o yılki şartlara göre değişkenlik göstermektedir. Bu da güneş enerjisinin, enerjinin sürekliliğine sahip olmadığını göstermektedir.

- Fotovoltaik sistem teknolojileri küçük ve oldukça modüler yapılara sahiplerdir. Bu yüzden elektriğin olmadığı her yerde rahatlıkla kullanılabilir. Elektriğin olmadığı yerlerde güneş varken oldukça yararlı bir enerji kaynağıdır. Güneş'in olmadığı akşam saatlerinde ise enerjinin depolanması için akü ihtiyacı duyulacağından ilk yatırım maliyetleri yüksektir.
- Geleneksel enerji santralleri aksine fosil yakıt kullanmaz ve maliyeti yoktur. Ve diğer enerji santrallerine göre düşük işletme ve bakım giderlerine sahiptir [3].
- Geleneksel enerji kaynaklarının kurulumu, güneş enerji santrallerinin kurulumu kadar fazla alanlara gerek duymaz. Güneş enerji santrallerine göre daha küçük enerji üretim santrallerinde güneş enerjisine göre daha fazla elektrik enerjisi üretilebilmektedir.
- Geleneksel enerji kaynaklarına göre, çevreyi daha az kirletir.

Bu avantaj ve dezavantajlar ışığında fosil yakıtların azalması, kirliliğe bağlı olarak çevresel felaketlerin hızlanması ve geleneksel enerji santral sahası olarak kullanılması zor ama güneş enerji santralleri için oldukça verimli araziler ile birlikte bina çatılarının değerlendirilmesi açısından güneş enerji santralleri diğer enerji santrallerine göre ilerleyen yıllarda da yatırımları artmaya devam edecektir.

1.2. Dünya’da ve Türkiye’de Fotovoltaik Sistem Tarihçesi

Dünya’da güneş enerjisi ilk olarak 1839 yılında o zamanlar sadece 19 yaşında olan Fransız Fizikçi Edmond Becquerel tarafından bir malzeme ışığa maruz kaldığında bir voltaj oluşumu olduğunu keşfetti. Bu keşfin Güneş enerjisi temelini oluşturacağını bilmiyordu. Fotovoltaik etki olarak tanımlanan bu keşif, daha sonraki PV gelişimlerinde etkili oldu. 1873’te Willoughby Smith, selenyum elementinin foto iletken potansiyeli sahip olduğunu keşfetti. Bu keşif ile güneş enerjisinin hücreler sayesinde kolayca toplanabildiğini göstermektedir. 1876’ da William Grylls Adams’ın ve Richard Evans Day’in selenyumun güneş ışığına maruz kalarak elektrik üretmesinin keşfine yol açtı. Birkaç yıl sonra 1883’ te Charles Fritts, selenyum katmanlar ile yapılan güneş pilleri üretildi. Bu panelin verimliliği %1-2 arasında değişmektedir. Bu bazı tarihçiler tarafından güneş pillerinin gerçek icadının Fritts’e ait olduğunu söylüyor. Ancak bugün bildiğimiz ve kullandığımız güneş pilleri selenyum dan değil silikonlardan yapılmaktadır.

Bu nedenle bazıları güneş panellerinin gerçek icadının Darly Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson'un 1954'te Bell laboratuvarındaki çalışmalar sonucu silikon hücre ile panel üretilmiş oldu. Bu panel ile, elektrik ile çalışan bir cihaz günde birkaç saat çalışır oldu [4].

Güneş enerjisi tarihindeki diğer önemli olaylar;

- Güneş teknolojisinin ilk kullanıldığı alanlardan birisi de uzay çalışmalarında uydulara güç sağlamak için yapılmış çalışmalardır. 1958'de, Vanguard I uydusu telsizlerine güç sağlamak için küçük bir güce sahip panel kullandı. O yılın ilerleyen günlerinde Vanguard II, Explorer III ve Sputnik-3 gemisi PV teknolojisi ile piyasaya sürüldü [4].
- 1973'te Delaware Üniversitesi, "Solar One" adıyla anılan ABD hükümeti Enerji Bakanlığı tarafından verilen sorumluluk ile, ilk güneş enerjisi binasını inşa etmekten sorumlu bir üniversiteydi. Burada inşa edilecek sistem hibrit bir güneş enerjisi sistemine sahipti. Sistemde dizi güneş panelleri kullanılmıyordu onun yerine Tesla'nın yeni çatı tasarımı ürününe benzer şekilde çatıya entegre edildi [4].
- 1957-1960 yılları arasında, 1950'de Almanya da kurulan ve büyük bir elektronik, beyaz eşya üreticisi olan Hoffman Electronics verimlilik ile bir atılım yaparak güneş paneli verimlilik rekorunu %8'den, %14'e çıkardı. 1985 yılında ise Güney Galler Üniversitesi silikon hücreler ile verimliliği %20'ye çıkardı. 1999 yılında National Renewable Energy Laboratory (NREL) %33 verimlilik ile bir panel üretmek için SpectroLab. Inc ile bir anlaşma yaptı. Güney Galler Üniversitesi araştırmacılarının 2016 yılında %34,5 verimliliğe ulaşmasının ardından rekoru tekrar kırdı [4].

Dünya'da kurulu güneş enerjisi kapasitesi 2019 yılı itibariyle 509 GW seviyelerine ulaşmıştır. Tablo 1.1'de görüldüğü üzere, bu kapasitenin %34'ü Çin'de (173 GW), %12 Amerika Birleşik Devletleri'nde (61 GW), %11'i Japonya'da (56GW), %9'u Almanya'da (46GW), %5'i Hindistan'da (26GW) bulunmaktadır [5].

Tablo 1.1. 2019 Yılı ülkelere göre güneş enerjisi kurulu gücü [5]

Yüzdelik Oranı	2019 Yılı Ülkelere Göre Güneş Enerjisi Kurulu Gücü
%34	Çin (173 GW)
%12	ABD (61 GW)
%11	Japonya (56 GW)
%9	Almanya (46 GW)
%5	Hindistan (26 GW)

Bu kurulu kapasiteye her yıl yaklaşık 100 GW civarında yeni kapasite eklenmektedir. Bunlar neticesinde 2023 yılında ilk 10 ülke aşağıdaki şekilde sıralanacağı tahmin edilmektedir. [5] Tablo 1.1’de , dikkat edilmesi gereken bir husus ise Almanya’nın diğer ülkelere göre güneşlenme sürelerinin az olmasına rağmen ilk beş ülkeden biri olması güneş enerjisine verdikleri önemi ve yaptıkları yatırımları açıkça göstermektedir.

1. Çin 448 GW
2. Amerika Birleşik Devletleri 132 GW
3. Hindistan 116 GW
4. Japonya 82 GW
5. Almanya 72 GW
6. Avustralya 45 GW
7. İtalya 29 GW
8. İspanya 25 GW
9. Güney Kore 24 GW
10. Fransa 22 GW

Türkiye’nin 2023 yılında 10,5 GW kapasiteye ulaşması beklenmektedir. 2020 ağustos ayı sonu itibariyle yaklaşık 6,3 GW ’a ulaşmıştır [5].

Türkiye’de, fotovoltaik sistemler konusundaki çalışmalar 1980 ve 1990’lı yıllarda başlamıştır.

Türkiye’de fotovoltaik sistem kullanımına verilebilecek bazı örnekler;

- Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Laboratuvarında, güneş hücreleri ile çalışan ısı pompası sistemi kurulmuştur [5].
- Afyon, Muğla/Göcek, Uşak ve Kahramanmaraş’ta telekomünikasyon amaçlı geliştirilen dört adet güneş pili ile çalışan ve toplam kurulu gücü 50kWp olan sistemler kurulmuştur [5].

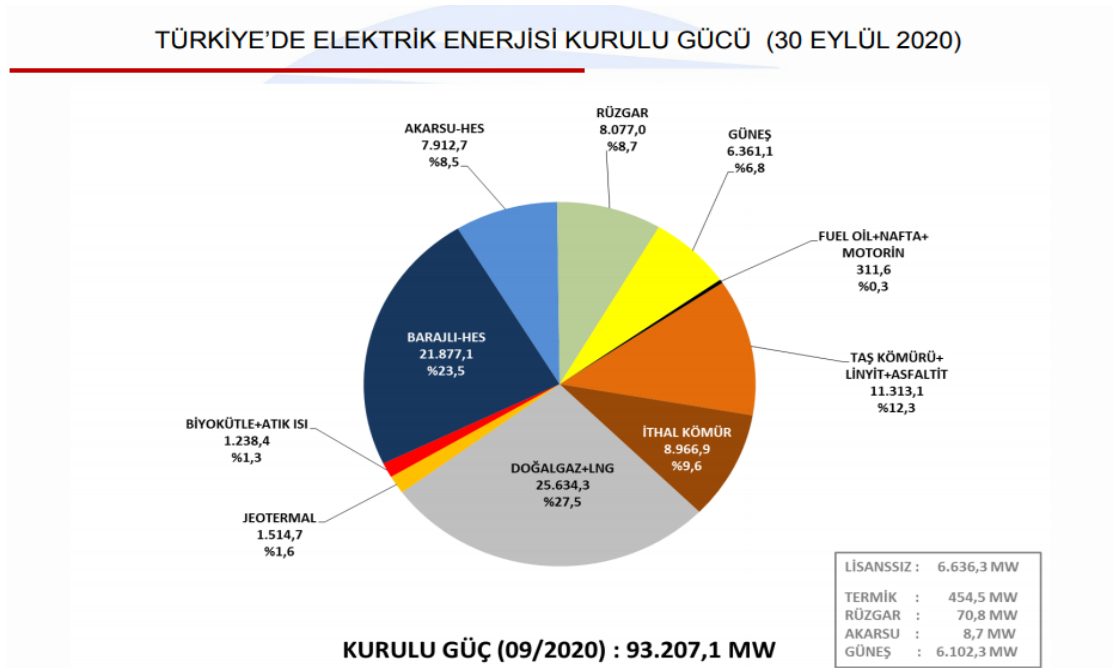
- Didim’de ilk güç santrali diye adlandıracağımız laboratuvar büyüklüğünde Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından tesis edilmiştir [5].

Güneş enerjisi ve fotovoltaik hücreler konusunda, yaşanan gelişmeler TUBİTAK tarafından yapılan çalışmalar neticesinde, zamanla kullanım oranları arttırılmayı hedeflenmiştir. Bu amaçla, ulaşım araçlarında, karayollarında aydınlatma, trafik ışıkları gibi yerlerde güneş enerjisinden faydalanılması amaçlanmıştır. 21 Temmuz 2011 tarihinde yayımlanan ‘Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi’ yönetmeliği kapsamında yatırımcılara 500Wp kurulu güce kadar lisanssız elektrik üretimi yapılacağı hakkı tanınmıştır [5].

Bu doğrultuda;

- 263 kWp kurulu gücüne sahip ilk lisanssız güneş enerji santrali olarak 2012 yılında kabulü yapılan Gazi Üniversitesi Teknopark güneş enerji santrali olmuştur [5].

14 Mart 2013 yılında kabul edilen, 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu’nun 14. Maddesi kapsamında, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine ilişkin yönetmelik, 2 Ekim 2013 tarihinde Resmî Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yürürlüğe giren yönetmelikle birlikte, lisanssız tesislerin azami kurulu gücü 1MW’a yükseltilmiştir. [5]



Şekil 1.2. Türkiye Temmuz 2020 kurulu gücü ve enerji çeşitlerine göre dağılımı [6]

Türkiye’de Ağustos 2020 sonu itibari ile toplam kurulu güç 93.207 MW’a ulaşmıştır. Bu gücün, 45.874 MW’I yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilirken, 29.789,8 MW hidroelektrik santrallerden, 6.361,6 MW güneş santrallerinden, 8.077 MW rüzgar enerji santrallerinden, 868 KW ise biyokütle enerji santrallerinden oluşmaktadır.

Tablo 1.2. *Türkiye Temmuz 2020 kurulu gücü ve enerji çeşitlerine göre dağılımı [6]*

Birincil Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)
DOĞALGAZ	333	25.617,6
HİDROELEKTRİK	689	29.789,8
GÜNEŞ	7221	6.361,6
RÜZGAR	283	8.077
BIYOKÜTLE	189	0,868

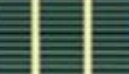
Güneş enerji santrallerinin, avantaj ve dezavantajlarını yazarken GES’ler için diğer enerji kaynaklarına göre aynı güçte elektrik üretebilmesi için daha fazla alana ihtiyaç duyduklarından bahsetmiştik. Tablo 1.2 de GES’lerin sayılarının diğer enerji santrallerine göre fazla olması kurulu güçlerinin de diğerlerine göre daha düşük olduğunu göstermekte ve son yıllarda yapılan GES yatırımlarının 2013 yılından itibaren değişen yönetmeliklerle arttığı görülmektedir.

1.3. Fotovoltaik Hücre Türleri

Fotovoltaik panel türleri hücrelerinde bulunan temel malzemelere göre farklı şekillerde adlandırılırlar. Dünya da üretimi devam eden çok çeşit Fotovoltaik hücreler bulunmaktadır. Tablo 1.3’de görüldüğü gibi birinci nesil hücreler, ticari amaçlı olarak çok yaygın kullanılan kristal silikon yapıda bulunan polikristal (Poly s-ci) ve monokristal (Mono s-ci) hücrelerdir. Kristal silikon hücre teknolojileri küresel ekonominin yaklaşık %87’sini oluşturmaktadır. Silisyum oksijenden sonra dünya üzerinde en çok bulunan elementtir. Bu modüllerin üretimi 1963’ler de Japon SHARP şirketinde üretimi başladığı ve gücü 242 w olduğu bilinmektedir [3]. İkinci nesil hücreler, ince film güneş pilleridir. Geleneksel silikon bazlı hücrelerden daha ucuzdur. Diğer hücre türlerine göre daha az verimlidirler. Diğer hücreler ile aynı güce ulaşmak için daha çok alana ihtiyaç duyarlar [7]. Bu hücrelerin üç farklı tipi bulunmaktadır. Bunlar, amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum galyum diseleniddir (CIS). Amorf silisyumlar ise panel etki derecesi en düşük ve 1 kWp enerji

için en fazla alan gerektiren hücre tipleridir. Bu hücrelerin soğurma katsayısı çok yüksek ve verimleri laboratuvar ortamında %15'leri bulmaktadır. Ama malzeme güneşe çıktığı zaman bu erimlerini kaybetmektedir. Bu yüzden diğer hücrelere göre 1kWp enerji üretmek için daha fazla yer kaplamaktadır. Kadmiyum tellür (CdTe) hücreler ise yüksek soğurma özelliğine sahip olmakla birlikte lineer performansları diğer hücrelere göre daha kısadır. Bakır indiyum galyum diselenid hücrelerin verimliliği kristal hücrelerin verimliliğine yakın olmasına rağmen ömrü olan yirmi yıl süresince verimlilikleri istenilen seviye de olmamaktadır. Silisyum yüksek performans hücreleri panel etki derecesi en yüksek malzemedir, 1 kWp elektrik için gerekli alan da diğerlerine göre en azdır. Bu hücrelerin ardından polikristal hücreler gelmektedir. Bunlarda etki derecesi bakımından ikinci sırada yer almaktadır. Kapladığı alan ise silisyum yüksek performans hücrelere göre daha fazladır.

Tablo 1.3. Hücreleri oluşturun materyaller ve verim oranları [3]

Güneş Hücresi Materyali	Panel Etki Derecesi	1 kWp İçin Gerekli Olan Alan	
Silisyum Yüksek Performans Hücreleri (Arka Yüzey Temaslı, HIT Monokristalin Silisyum)	%17-20	5-6 m ²	
	%11-17	6-9 m ²	
Polikristalin Silisyum	%10-16	6-10 m ²	
İnce Tabaka Bakır-Kadmiyum-Dizelenit(CIS)	%7-14	7-12,5 m ²	
Kadmiyum Telür (CdTe)	%7-13	9-17 m ²	
Mikromorf Silisyum	%7-12	15-26 m ²	
Amorf Silisyum	%4-7	8,5-15,5 m ²	

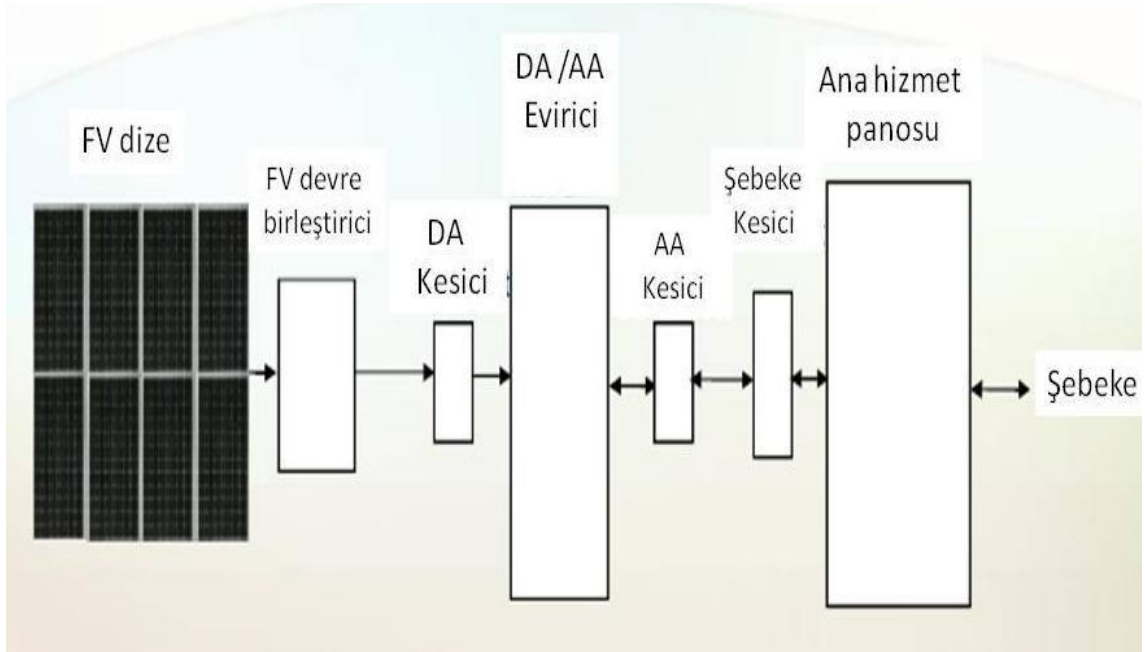
1.4. Fotovoltaik Sistem Türleri

İki ana Fotovoltaik sistem türü bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi şebeke bağlantılı (on-grid) sistemlerdir. Bu sistemler, şebeke bulunan yerlerde depolama ihtiyacı bulundurmada ürettiği enerjiyi sisteme verecek şekilde tasarlanmıştır. İkinci olarak tasarlanan sistem ise şebeke bağlantısız (of-grid) sistemlerdir. Bu sistemler ise, şebekeye ihtiyaç duymadan ürettiği elektrik enerjisini aküde depolar ve ihtiyaç anında buradan kullanır. Bu çalışma da depolama ihtiyacı olmadan şebeke bağlantılı olacak şekilde sistem tasarlanmıştır.

1.4.1. Şebekeye bağlı (on-grid) sistem

Şebekeye bağlı bir güneş enerji sistemi kurulmasının amacı güneş olsun veya olmasın şebeke kesintiye uğramadıkça her zaman elektrik erişimine sahip olmasıdır. Bu sistem iki şekilde çalışmaktadır. Elektrik kaynağı kullanıcının bağlı olduğu şebekeye veya kullanıcıdan şebekeye doğru akabilir. Bu özellik şebekeye bağlı olan sistemler de uygun fiyatlı ve oldukça kullanışlı bir hale gelir.

Bu sistemi evimizin çatısı veya cephesine kurarak, şebekeden elektrik kullanımımız azaltır ve buna bağlı olarak elektrik faturasının da azalmasına sebep olur. Şebekeye bağlı olduğu için ekstra ilk kurulumda akü maliyeti ve bu akülerin bakım maliyeti geri dönüş sürelerini uzatmaktadır.

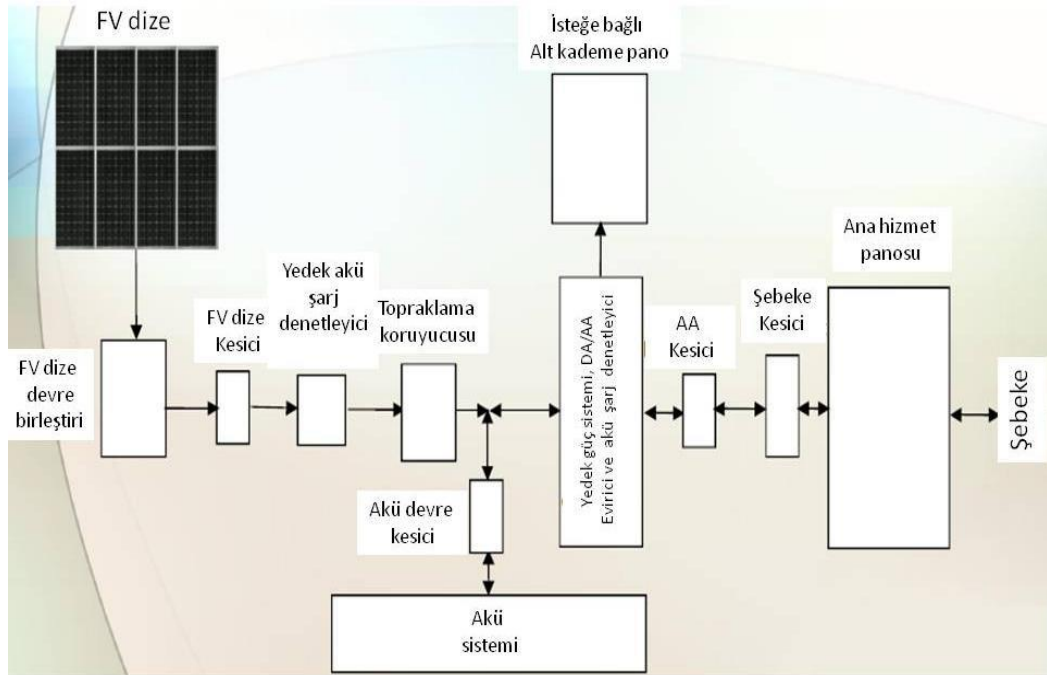


Şekil 1.3. Şebekeye bağlı (on-grid) sistem çalışma prensibi [8]

Güneş panelleri, güneş ışığını Doğru Akım (DA) olan elektrik enerjisine dönüştürür. Doğru akım olarak üretilen elektrik enerjisi daha sonra bir eviriciye gönderilir. Güneş enerjisi eviricisi doğru akımı alternatif akıma dönüştürür, böylece elektrik öğelerine güç sağlar. Bu elektrik daha sonra günlük kullanım için bağlı olduğu şebekeye yönlendirilir. Şebekeye bağlı evirici, beslenen elektriğin miktarını ve gerilimini ayrıca düzenler. Bu sistemlerin önemli bir özellikleri de çift yönlü sayaçlara sahip olmasıdır. Şebekeye verilen ve tüketilen enerji kaydedilir. Her ödeme dönemi sonunda sistemde üretilerek tüketilen ve dağıtım şirketinden alınan enerji miktarı belirlenerek mahsuplaşma işlemi sonunda üreticinin varsa borcu fatura edilir. Bu 'dönüştürülmüş' güç kaynağı daha sonra evler tarafından ana elektrik dağıtım paneli aracılığıyla kullanılır.

1.4.2. Şebekeden bağımsız (off-grid) sistem

Şebekeden bağımsız sistemler, şebekeden bağımsız çalışır ancak sistem tarafından üretilen enerjiyi depolayabilen pillere, akülere sahiptirler. Şekil 1.4.'de görüleceği üzere sistem güneş panelleri, batarya, şarj kontrol cihazı, evirici gibi cihazları içerir. Bu sistemler gün boyunca yeterli güneş ışığını depolar ve gece üretilen fazla gücü kullanır.



Şekil 1.4. Şebekeden bağımsız (off-grid) sistem çalışma prensibi [8]

2. TÜRKİYE’DE GÜNEŞ ENERJİSİ İLE İLGİLİ YÖNETMELİKLER

Türkiye’de güneş enerjisinin de içinde bulunduğu yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ilk defa 5346 sayılı *Yenilebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına* [9] ilişkin kanun ile yasallaştırılmıştır. Bu kanun ile, yenilebilir enerji kaynaklarının güvenilir bir biçimde ekonomiye kazandırılması, sera gazı emisyonlarının diğer petrol türevli elektrik üretim santrallerinin önüne geçmesi ve kaynak çeşitleri artırılarak atıkların azaltılması hedeflenmiştir. Bu kanun ile beraber 2011 yılı sonuna kadar devreye alınacak santrallere alım 7 yıl alım garantisi verilmiş ve bir önceki yıla göre ortalama toptan satış fiyatına göre alım garantisi sağlanmıştır. 02.05.2007 tarihli ve resmî gazete de yayımlanan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu [10] ile 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunun da değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklik ise 2013 yılına kadar devreye girecek santrallerin alım garantisi 7 yıldan 10 yıla ve alım fiyatı ise en az 5 euro sent/kWh, en fazla ise 5,5 euro sent/kWh olmayacak şekilde değiştirilmiştir.

2.1. Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretim Yönetmeliği

2011 yılında EPDK tarafından çıkarılan bu yönetmeliğin çıkmasındaki en büyük nedenler , tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarını karşılaması için tüketim noktasına en yakın üretim yerinde olmaları ve bu üretim tesislerinden ihtiyaçlarının karşılanması , tüketim ve üretim noktalarının yakında olmaları vasıtasıyla enerji arz güvenilirliğinin sağlanması ve kayıp bedellerinin azalmasının amaçlanması için şirket kurma zorunluluğu olmaksızın gerçek ve tüzel kişilere uygulanacak esaslar burada belirtilmiştir.

Bu yönetmelik en son 12.05.2019 tarihinde revizyona uğrayarak EPDK tarafından yürürlüğe girmiştir [11].

Bu yönetmeliğe göre;

- Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız elektrik kurulu güç üst sınırı Ekim 2013 yılında 1MW’a yükseltilmişti 12.05.2019 tarihinde yürürlüğüne giren yönetmelik ile 1MW’dan 5MW’a yükseltilmiştir [12].
- Haziran 2021’e kadar uzatılan süre ile ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi tesisinin işletmeye girmesinin ardından 10 yıl süreyle elektrik tarifesine göre aktif enerji üzerinden sisteme satılabilecektir [12].

- YEKDEM fiyatları yeniden belirlenerek yenilenebilir enerji statüsünde sayılan enerji kaynakları için ayrı fiyatlandırma kalkıp GES, RES, JES, BES gibi yenilenebilir enerji santralleri için 10 süreyle tek fiyat üzerinde alım yapılacaktır [12]. 30 Ocak 2021 tarihli Resmî Gazete de yayınlanan Cumhurbaşkanı kararı ile YEKDEM kapsamında 01 Temmuz 2021 tarihinden itibaren uygulanacak alım fiyatları belirlenmiştir. Bu karar ile, e Güneş Enerjisine dayalı üretim tesisinde, YEKDEM destekleme fiyatı 32 TL/kWh, yerli katkı fiyatı 8 TL/kWh, olarak belirlenmiştir.
- Elektrik tüketimi üretildiği yerde yapılacak ve bu durum sayesinde sistemde oluşacak kayıplar azalacak, iletim dağıtım masrafları olmayacak ve ilave kapasite artışı bu sayede oluşacaktır [12].
- Bazı istisnalar hariç kamu kurum ve kuruluşları ile madde 5.1.ç ile belirtilen üretim ile tüketimin aynı ölçüm (bağlantı) noktasında olma şartı ile birlikte araziye de kurulum yapabileceklerdir. Üretim ve tüketimi aynı yerde olan bu tesisler mahsuplaşma yapılırken hem enerji satışında hem de alış da indirimsiz olarak dağıtım bedeli alınacaktır [12].
- C bendi daha çok kamu kurumlarına yönelik bir karar olarak dikkat çekmektedir. Tüketimi yüksek olan bir belediye, arazi kurulumu gerçekleştirebilir ve tüketimi çeşitli belediye aboneliklerinin olduğu farklı yerler olabilir [12]. Bu yönetmelik ile üretim yerinde tüketim zorunluluğu esnetilmiş olup aynı belediyeye ait çok fazla tesis olabileceğinden bu maddenin kullanılabilirliği olacaktır.

Lisanssız elektrik üretim tesisleriyle ilgili olarak özellikle güneş enerjisi sektörünün merakla beklediği aylık mahsuplaşma düzenlemesi de 12 Mayıs 2019 itibarıyla 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında Lisanssız Üretim Yönetmeliği ve Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ birleştirilerek “Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik” çatısı altında birleştirilmiştir [12].

- Bu yönetmelik ile en önemli değişiklik olarak aylık mahsuplaşma olacaktır. Aylık mahsuplaşma yeni çağrı mektubu alacak üreticiler için uygulanacak [12].

- Sanayi, ticarethane gibi kendi çatılarına kurulması beklenen GES'ler sayesinde elektrik faturaları asgariye düşecek, ülke ekonomisi ve tüketici kazanmış olacak [12].
- Madde 28 (1)'de yer alan *“Lisanssız üretim yapan gerçek ve tüzel kişilerin bir dağıtım bölgesinde kurulu üretim tesisinde ürettikleri enerji, ancak aynı dağıtım bölgesi içerisinde yer alan ve aynı kişiye ait tüketim tesisi ya da tesislerinde tüketilebilir.”* İfadesi GES kuran bir işletmeci aynı dağıtım bölgesi sınırları içinde bulunan başka bir abonelik bulunan tüketim tesisi için mahsuplaşma yapabilir. Kurulacak tesislerin üretim ve tüketim tesislerinin aynı bölge de olma zorunluluğu da bulunmaktadır [12].
- Mesken, ticarethane ve sanayi tesisleri 5.1.c maddesi kapsamında yapılacak olan başvurular sözleşme gücü ile sınırlı olacak ve arazi hariç çatı ve cepheye yapılabilecek [12].
- Madde 5.1.ç kapsamına göre mesken, ticarethane ve sanayi tesisleri de olmak üzere tüm başvurular, üretim ve tüketimin aynı yerde olmak kaydıyla araziye de kurulum yapabileceklerdir. Bu kapsamda 5MW üst sınırı yoktur. Sınır sözleşme gücü kadardır ve kurulacak olan tesisler aylık mahsuplaşma kapsamındadır [12].
- “Geçici Madde 1 ve 2” de mevcut çalışmakta olan 5Ç maddesi kapsamında GES projeleri ve 10 kW altı çatı tipi GES projelerinde yönetmeliğin yayımlanma tarihinden 60 gün içinde başvuru yaptıkları sürede aylık Mahsuplaşmadan yararlanılabilecek iken çağrı mektubu almış yalnız daha geçici kabulü yapılmamış 5(Ç) maddesi kapsamında GES Projeleri ve 10 kW altı çatı GES projeleri otomatik yeni yönetmeliğe göre işlem görecektir ve aylık mahsuplaşma otomatik devreye girecek [12].
- Madde 29 (1)'de yer alan *“Aynı tarife grubunda yer alan ve aynı bağlantı noktasına bağlanan veya elektrik enerjisi tüketimleri tek bir ortak sayaç ile ölçülebilen bir veya birden fazla gerçek ve/veya tüzel kişiye ait tesislerde tüketilen elektrik enerjisi için tüketimlerinin birleştirilerek bu yönetmelik kapsamında üretim tesisi ya da tesisleri kurabilir. Tüketim birleştirmeye katılan kişilerin her birinin ayrı ayrı tüketim tesisi ya da tesislerinin olması gerekir. İşhanı, alışveriş merkezi ve sanayi sitesi gibi tüketim noktalarında ayrı tüketim tesisi olmayan kişiler tarafından yapılacak tüketim birleştirme*

başvurularında o ölçüm noktası itibarıyla elektrik tüketimi gerçekleştirildiğini tevsik edici bilgi ve belgeler sunulur.” Bu madde ye göre aynı çatı altında bulunan AVM’ler gibi içinde işletmeler bulunan ticarethaneler kooperatif kurmaya gerek kalmadan GES kurma imkânı sağlamıştır [12].

- 24. Madde’ ye göre mahsuplaşma kWh bazında olacağı için geriye kalan enerji üretimi için dağıtım bedeli geçerli olacaktır [12]. 24. Maddede şebekeden alınan kWh bazında enerji kadar üretilip sisteme verilen enerjiden dağıtım bedeli alınmayacak ama alınacak kWh bazında enerjiden daha fazla üretilmesi halinde dağıtım bedeli alınacaktır.

12 Mayıs 2019 tarih ve 30772 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanan “Elektrik Piyasası Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği” ile ilgili EPDK tarafından yapılan bildirimde henüz çağrı mektubu almaya hak kazanmayan başvurularla ilgili olarak söz konusu yönetmeliğin 13. Maddesi uyarınca eksik bildirimde bulunulması eksiklikleri, tamamlanmayan başvuruların ve yönetmelikte yer alan koşulları sağlamayan başvuruların reddedilmesi gerektiği belirtilmiştir [12].

20/06/2019 tarihli ve 8663 sayılı “Dağıtım Lisansı Sahibi Tüzel Kişiler ve Görevli Tedarik Şirketlerinin Tarife Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar” yapılması hakkında karar doğrultusunda;

Son zamanda belirtilen tarifeler ile aylık mahsuplaşmada kendi tüketici dağıtım tarifesi uygulanacağı görülmektedir. 12 Mayıs lisanssız yönetmeliğinin 11. Maddesinin birinci, ikinci ve üçüncü fıkrası kapsamındaki üretim tesislerinde mahsuplaşma kapsamındaki tüketim karşılığı üretim için kendi tüketici dağıtım tarifesinden yüzde 50 indirim, mahsuplaşma sonrası tüketimin fazla olduğu kısım için kendi tüketici dağıtım tarifesi, mahsuplaşma sonrası üretimin fazlası için 10 yıl süreyle kendi tüketici dağıtım tarifesinden yüzde 100 indirim (dağıtım bedeli alınmayacaktır) uygulanacaktır [12].

2 Şubat 2019 tarihli ve 30674 sayılı Resmî Gazete’ de yayınlanarak yürürlüğe giren “Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama” yönetmeliğinin 54. Maddesinde “OSB tüzel kişiliği ve katılımcının kendi ihtiyacı için kurulan/kurulacaklar hariç olmak üzere, güneş ve rüzgârdan elektrik üretim tesisi kurulamaz” hükmü yer almaktadır. Burada bahsi geçen hüküm 12 Mayıs 2019 tarihinde yürürlüğe giren “Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği” ile OSB ‘lerin 5.1.ç ile elektrik üretilip üretemeyecekleri ve mahsuplaşmaya dahil olup olmayacakları belirtilmediği için belirsizlik söz konusudur [12].

Bunlara ek olarak aylık mahsuplaşma uygulamasında;

- “Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği” kapsamında kurulacak olan elektrik üretim tesislerinde üretim ve tüketim tesisleri aynı dağıtım şirketi bölgesinde olması gerekmektedir [12].
- Üretim tesisi fiili üretimine başlamadan önce tüketemediği enerjinin fazlasını sisteme veremeyecektir [12].
- Sisteme verilen enerji ile sistemden alınan enerji, her ayın 6. Gününde yapılacak hesaplarla aylık mahsuplaşmaya tabi olacaktır [12].

2.2. Elektrik Piyasasında Lisans Yönetmeliği

Resmî Gazete’nin 8 Mart 2020 tarihli 31062 sayısında “*Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair*” yönetmelik yayımlandı [13]. Yayımlanan yönetmelik 1 Temmuz 2020 tarihinde yürürlüğe girerek birden fazla kaynağa dayalı elektrik üretim tesislerin kurulması olağan haline geldi. ORS olarak çatı üzeri Fotovoltaik sistem kurulmasındaki engel bu yönetmelik ile beraber ortadan kalkmış bulunmaktadır. ORS ’de bulunan lisanslı 19.6 MW bağlantı anlaşmalı kojenerasyon tesisi ile birlikte yardımcı kaynak olarak bağlantı anlaşması gücü kadar fotovoltaik sistem kurma olanağı sağlanmıştır.

Güneş enerji santralleri ikincil kaynak olarak kojenerasyon tesisleri dışında RES, JES, HES, BES ve termik santraller için de kurulabilirler.

Neden hibrit enerji santrali kurulmalıdır?

- Mevcut santral içinde bulunan enerji nakil hattı ve trafo kurulu gücünden en üst seviye de yararlanılır.
- Santrallerin arıza durumlarında oluşan kayıpları en aza indirilir.
- Mevcut santralde arıza varsa ve buna bağlı olarak üretim yoksa ikincil kaynak olarak kurulan enerji üretim santralinde hala enerji üretilmeye devam eder.
- Hibrit enerji santrali mevcut enerji santralinin maliyetini ve işletme giderlerini azaltır.
- Santralin kurulu olduğu derç alanı için de enerji üretilme potansiyeli olan boş bölgeler enerji kaynağı olarak kullanılmış olur.
- Daha sabit gerilim-frekans kontrolü sağlar.
- Yardımcı kaynak ünitesi, ana kaynağa dayalı tesisin ünitesi olarak kabul edilir ve tesis tek bir ön lisans veya lisans kapsamında değerlendirilir [14].

Ön lisans ve lisansa konu tesisin birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisine dönüştürülmesi kapsamında tadil başvurusu uygunluk şartları;

- Ön lisans ve lisansa belirtilmiş yani derç edilmiş sahanın dışına çıkılmaması gerekmektedir [14]. Çalışması yapılan sanayi tesisinin kojenerasyon tesisinin lisansı alınırken elektrik üretim sahası olarak sadece kojenerasyon sahasının koordinatları belirtildiği için ilk olarak derç alanının tadil edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden tüm fabrika alanı koordinatları santral sahası olarak belirtilmiş ve buna göre başvurular yapılmıştır.
- Lisansı veya ön lisansı bulunan tesisinin elektriksel kurulu gücü neyse bunun üzerine çıkılmaması gerekmektedir [14]. Çalışması yapılan kojenerasyon tesisinin lisansı 19,6 MW olduğu için maksimum bu güçte bir yardımcı kaynaklı santral kurulabilir ve bu elektrik santrallerinin anlık çıkış güçleri hiçbir zaman lisansta belirtilen kurulu gücü geçmeyecek şekilde gerek yazılımsal gerekse gerekli teknik önlemleri almak gerekmektedir.
- Lisansı veya ön lisansı bulunan tesisin mevcut bağlantı şekli, bağlantı noktası ve gerilim seviyesi ne ise onun değişmemesi gerekmektedir [14]. ORS olarak bağlantı gerilim seviyesi 31,5 kV olduğu için kurulacak fotovoltaik santral için ,04/31,5 kV trafo kullanarak sisteme bağlantısı yapılacaktır.
- Yardımcı kaynağı güneş ve rüzgâr enerjisi olan üretim santrallerinin Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından uygun olarak değerlendirilmesi gerekmektedir [14].
- Yardımcı kaynak ile beraber, üretilerek sisteme verilen net enerji o günkü belirlenen fiyat üzerinden sisteme verilebilir. YEKDEM kapsamında değerlendirilmez. O yüzden bu çalışmada, 133 USD/MWh yerine şu anki birim fiyatı 65 USD/ MWh üzerinden analizler yapılmıştır. İki farklı üretim kaynağı olduğu için sisteme verilirken en düşük fiyat hangi enerji kaynağıysa o fiyat üzerinden sisteme verilmesi sağlanmaktadır.

Lisanslı enerji santrallerin yardımcı kaynak güneş veya herhangi bir enerji santrali kurması için santral montajına başlamadan önce iki aşama bulunmaktadır. Bu aşamalar EPDK tarafından, “ÖNLİSANS VE LİSANS TADİL BAŞVURULARI İLE BİRLEŞME, BÖLÜNME, TESİS/ PROJE DEVRİ ONAY BAŞVURULARINDA SUNULMASI GEREKEN BİLGİ VE BELGELER LİSTESİ “adlı yayınlanan belge de yer almaktadır.

Birincisi santral sahası koordinat tadilatı. Santral sahası koordinat tadili için yapılması gerekenler [15];

- Başvuru dilekçesi: EPDK Başvuru Sistemi üzerinden yapılacak başvurularda sistem tarafından otomatik olarak oluşturulur, başvuru sahibi tarafından elektronik imza ya da mobil imza ile imzalanarak tamamlanır [15].
- Talep edilen koordinat değişikliğinin gerekçesini gösteren bilgi ve belgeler sisteme yüklenir. Kojenerasyon tesisi santral sahası olarak belirtildiği için tapu da belirtilen ada parsel için koordinatlar sisteme santral sahası olarak belirtilmiştir [15].
- Talep edilen koordinat değişikliğinin üçüncü kişilerin haklarını ihlal etmeyeceğine ilişkin beyan verilmelidir. Yani kurulması planlanan fotovoltaik santralin çevreyi, çevre de bulunan insanların haklarını ihlal etmemelidir. Bunun için de kurulacak fotovoltaik santralin ÇED kapsam dışı olduğuna dair il çevre müdürlüğüne başvurulması gerekmektedir [15].
- Lisans tadili için tadil bedeli yatırılıp bu dekontun sisteme girilmesi gerekmektedir [15]. EPDK'nın yayınladığı 2021 yılı fiyat tarifesine göre tadil bedeli 10.500 TL olarak belirtilmiştir [16].
- Mevcut mülkiyet durumunun gösterildiği ada/parsel üzerinde bulunan binaların 1/5.000 ölçekli vaziyet planı sisteme girilmelidir. Bu vaziyet planında, üretim tesisine ait tüm tesislerin yerleşim yerleri ve sınırları çizilerek gösterilecektir. Ayrıca bu planda, tesis yerine ilişkin il-ilçe-köy-mahalle-ada-parcel bilgileri de yer alır [15].
- İmar durum beyanı ibraz edilmelidir [15].
- Güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için arazi vasfını gösterir belge sisteme girişi yapılmalıdır.
- Santral sahasının Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği gereği duyarlı yöreler kapsamında olup olmadığına dair beyan hazırlanmalı bunun için belge ibraz etme zorunluluğu yoktur [15].
- Üretim tesisine ilişkin koordinatları Google-Earth programından alınacak kml ve kmz uzantılı dosyalar sisteme girilmesi gerekmektedir [15].
- Üretim tesisi sahasının eski yerini ve yeni yerini gösteren karşılaştırma haritası ibraz edilmelidir [15].

Santral sahası koordinat tadili yapıldıktan sonra ikinci olarak da mevcut ön lisans veya üretim lisansının, ilgili üretim tesisinin birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisine dönüştürülmesi kapsamında tadil edilmesi gerekmektedir. Bunun için gerekli evraklar aşağıdadır;

- Neden lisans tadili yapılmak istendiğine dair başvuru dilekçesi verilmelidir.
- İkincil yakıt kaynağı olarak kurulacak olan yardımcı kaynağa ilişkin aşağıdaki belgeler sisteme girişi yapılmalıdır.:
 1. Üretim lisansının neden tadil edileceği ve kurulması planlanan yardımcı enerji kaynağına dair verilecek bilgiler dahilinde bilgi formu hazırlanmalıdır [15].
 2. Üretim tesisinin yerleşim yeri projesi: Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisleri için yapılacak başvurularda, ana kaynağa dayalı üniteler ile yardımcı kaynağa dayalı üniteler birlikte dikkate alınarak oluşturulur [15]. Lisans tadilinden önce, derç alanı tadili yapılmasındaki amaç kojenerasyon tesisi ile birlikte fabrika çatılarının santral sahası olarak belirtilmiş olmasıdır.
 3. Üretim tesisinin bağlantı noktasını ve gerilim seviyesini gösteren tek hat şeması, dağıtım hatlarını, dağıtım merkezini ve trafo merkezini içerecek şekilde hazırlanmalıdır. Tek hat şemasında gerilim, güç, devre sayısı, kablo kesiti, kablo uzunluğu gibi bilgilere yer verilmeli ve hangi mülkiyet sınırları içinde (TEİAŞ, EDAŞ, Şirket) olduğu gösterilir. İç tesisat şeması tek hat üzerinde gösterilmez [15].
 4. Tadil başvurusuna konu sahaya ilişkin imar tadilatının gerekmesi halinde, mekânsal strateji planı, çevre düzeni planı, varsa nazım ve/veya uygulama imar planları bakımından tadile engel bir hususun olup olmadığı EPDK Başvuru Sistemi beyanlar sayfasındaki ilgili alanlardan seçilmesi suretiyle belirtilmelidir. İmar durumu bakımından beyan edilen her plan için söz konusu planın tarihinin ve üretim tesisinin kurulmasına neden olan engelin nasıl aşılabileceğinin açıklanması zorunludur. Gerekli açıklama yapılmadan başvuru imzalanamaz. Açıklamaya ilişkin varsa bilgi/belgeler evrak yükleme sayfasında yer alan ilgili bölüme yüklenmelidir [15].
 5. Yardımcı kaynağı rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı ön lisans/lisanslar için tadil başvurusuna konu santral sahasında yardımcı ünitelerin, yani

yardımcı üniteler derken türbinler, şalt sahaları, kablo kanalları ve bakım için ayrılan yolların tamamının ya da bir kısmının mutlak tarım arazilerine, özel ürün arazilerine, sulu tarım arazilerine, dikili tarım arazilerine, büyük ovalara isabet edip etmediğini açık biçimde açıkça koordinat ve ada/parsel bilgilerinin ifade edilmesi gerekir [15].

6. Üretim tesisine ilişkin koordinatları Google-Earth programından alınacak kml ve kmz uzantılı dosyalar sisteme girilmesi gerekmektedir [15].
7. Lisans tadili için tadil bedeli yatırılıp bu dekontun sisteme girilmesi gerekmektedir [15].

Bu belirtilen aşamalar EPDK tarafından onaylandıktan sonra santral sahası montajına başlanabilir. Santral saha montajı bittikten sonra son aşama olan santrale ait kati proje dosyasının (elektrik, makine, inşaat) ETKB Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından istenilen doğrultuda hazırlanıp onaylanması, hazırlanan projelerin ETKB tarafından onayının sağlanması, santral geçici kabul işleminin geçici kabul heyeti ile birlikte santralin devreye alınmasıdır.

3. PVSYST İLE ÇATI ÜSTÜ PV SANTRAL MODELLEMESİ VE SİSTEM TASARIMI

Bu bölümde PVSYST 7.1.1. benzetim programı kullanılarak fizibilitesi yapılacak tesisin çatıları belirlenip kullanılacak olan fotovoltaik panel ve eviriciler belirlenip simülasyonu yapılacaktır. PVSYST programı Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen mimarlar, mühendisler ve araştırmacılar tarafından kullanılan ve bu yazılım, enerji verim tahmini ve güneş enerji santrallerinin optimum tasarımı için kullanılan en yaygın benzetim programıdır. Bu çalışma yapılırken tek bir fotovoltaik panel ve iki adet evirici ile iki farklı simülasyon yapılmıştır. Bu tezin yapılmasındaki amaç power optimizer teknolojisinin kurulacak bir sistemde ne kadar katkı yapması ve power optimizerin getireceği maliyetin karşılığının alınıp alınmayacağına görülmesi için tek panel markası kullanılarak iki farklı evirici verimliliği ve performansı ölçülmüştür. 33.3 kW Power Optimizerli iki panel çözünürlüğe sahip olması bu teknolojinin performans olarak katkısı konvansiyonel evirici olan ABB-PVS100 TL ile karşılaştırılarak simülasyonlar yapılacaktır. Kullanılacak olan fotovoltaik panelin özellikleri ve kullanılacak olan eviricilerin özellikleri belirtilecek ve iki eviricinin karşılaştırması yapılacaktır.

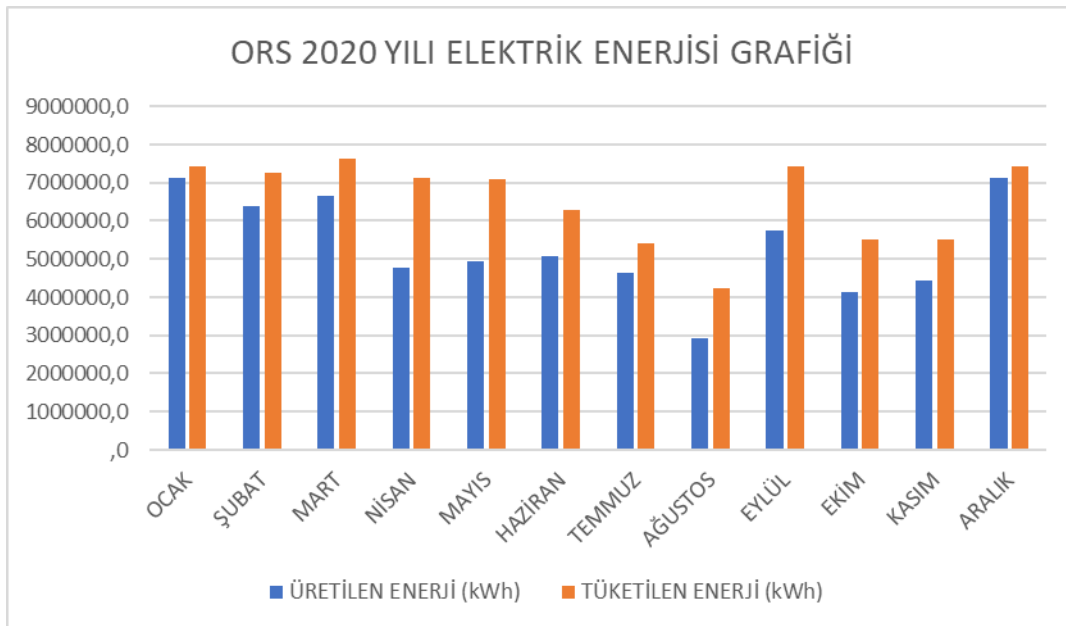
3.1. Fizibilitesi Yapılan Sanayi Tesisi



Görsel 3.1. *Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş.*

Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş. Ankara'nın Polatlı ilçesi sınırları içinde bulunmaktadır. Başkent'in Batı kapısında ve bulunan ve Doğu ile batıyı birbirine bağlayan karayolu üzerinde bulunan ilçe aynı zaman da konum gereği birçok sanayi tesisine ev sahipliği yapmaktadır.

Ankara-Polatlı Karayolunun 65.km kurulmuş olan ülkemizde ve Ortadoğu 'da tek rulman üretici, Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş. 1986 yılında Steyr Avusturya lisansı ile üretime başlamış olup 1989 yılında Steyr firmasının SKF Bearings tarafından satın alınmasının ardından SKF Avusturya lisansı ile üretimine devam etmiş, gerekli know-how öğrenildikten sonra da 1991 yılından itibaren de bağımsız olarak üretimini sürdürmektedir. ORS,170.000 m² arazi üzerinde 145.000 m²'si kapalı bir alanda üretim yapmaktadır. Otomotiv sanayi için pek çok özel tip rulman imal edilmektedir. Rulman üretimi için çok sayıda proses bulunmaktadır. Bu proseslere bağlı olarak, yıllık 80 GWh elektrik tüketimi bulunmaktadır. Bunun için 1998 yılında kurulu gücü 19,6 MW bağlantı anlaşmalı kojenerasyon tesisi devreye alınmıştır. Şekil 3.1 'de 2020 yılı içerisinde fabrika tüketimi ve kojenerasyon tesisinden üretilen elektrik enerjisi grafiği görülmektedir. 2020 yılında kojenerasyon tesisinden üretilen enerji 63.920.316 kWh, fabrika tüketimi ise 78.289.836 kWh olarak görülmektedir. Elektrik üretimi için yaklaşık yıllık 16.000 ton doğalgaz kullanılmakta ve ORS olarak her prosesi kendi tesisinde yapmak isteyen bir şirket için dışa bağımlı bir halde bulunmaktadır.

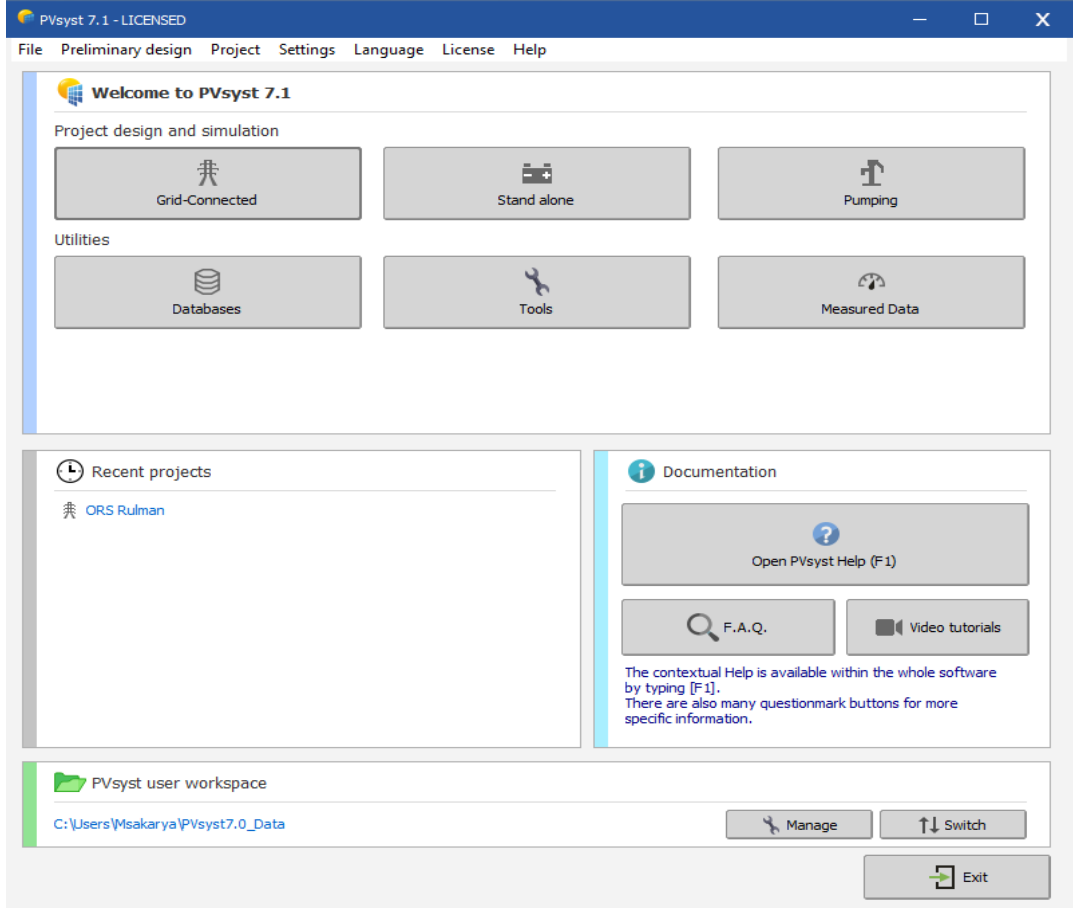


Şekil 3.1. ORS 2020 yılı üretilen ve tüketilen elektrik enerji grafiği

Şekil 3.1’den de anlaşılacağı üzere, her ay üretilen enerjiden daha fazla bir enerji tüketimi söz konusudur. Üretilen elektrik enerjisi, doğalgazdan üretildiği için yıllık ortalama 16 ton civarı doğalgaz tüketimi söz konusudur. Bu doğalgaz tüketimine bağlı olarak hem CO₂ hem de dışa bağımlı halde bulunmaktayız. İki farklı yöntem ile elektrik enerjisinin maliyetinin adet rulman ve kg rulman başına maliyetleri hesaplanmaktadır. İki farklı yöntem kullanılmasıdaki amaç ise yaklaşık 850 farklı rulman tipi olduğundan her birinin ağırlığı farklı olmaktadır. Bu yüzden hem kg başına hem de birim adet başına elektrik enerjisi tüketimi göz önünde bulundurulmaktadır. Bir kg rulman için tüketilen elektrik enerjisi 2020 yılında 6,3 kWh/kg, bir adet rulman üretimi için tüketilen elektrik enerjisi ise 1,33 kWh/adet olmaktadır. Elektrik enerji maliyetlerinin aşağıya çekilmesi rulman pazarında rekabetçi olunmasını sağlayacaktır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğundan, bu çalışma 7668 kWp kurulu güce sahip ORS Rulman çatı üstü Fotovoltaik sisteminin modellemesi ve benzetimi işini kapsamaktadır. Benzetim sonucu sanayi tesisinin elektrik tüketimi de göz önünde bulundurularak, sistemin ne kadar elektrik enerjisi üreterek tesise katkı sağlayacağı belirlenmiştir. FV sistemlerin sanayi çatı uygulamalarının çoğalması adına ilgili birimlere yol gösterici bir çalışma olması hedeflenmiştir.

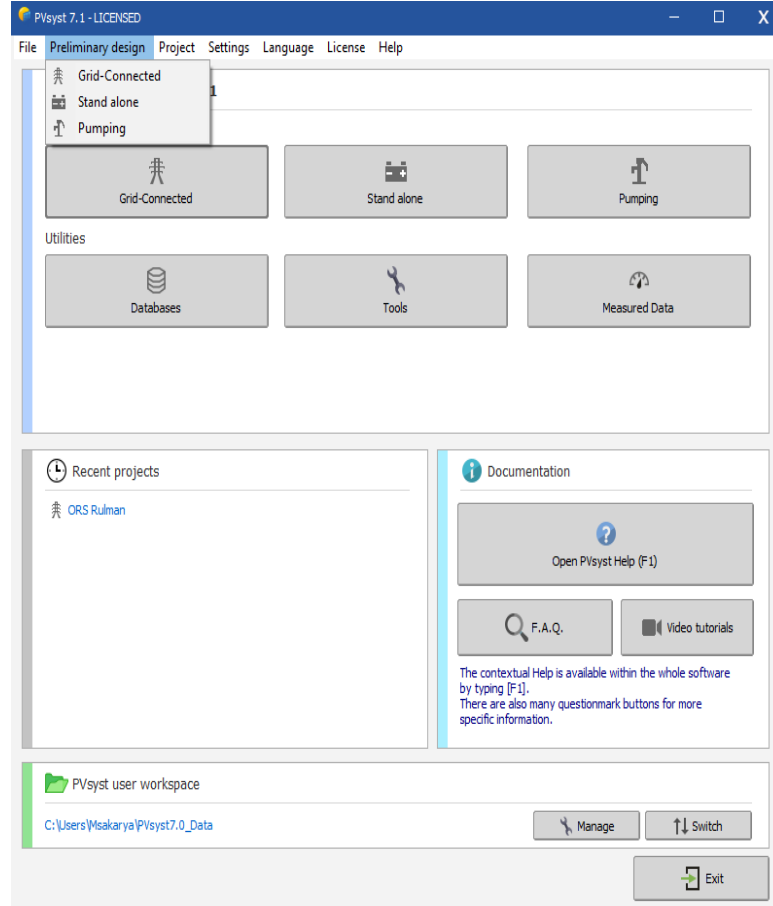
3.2. PVSyst Benzetim Programı Yardımıyla Sistem Modellemesi

PVSyst, İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen bir PV sistem simülasyon programıdır. Bu program şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız olarak sistem tasarımı ve benzerlerine kıyasla detaylı hesap ve farklı parametrelerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır [17]. Bu benzetim programında 3 boyutlu modeller hazırlanarak analizler yapılır bu analizlerde santralde meydana gelebilecek gölgeler ve kayıplarda dikkate alınır. Tasarlanan güneş enerji sisteminde sistemin performansı gerçek zamanlı görülebilir. Görsel 3.2’de Pvsyst programının ana sayfası görülmektedir.



Görsel 3.2. PVsyst ana sayfası

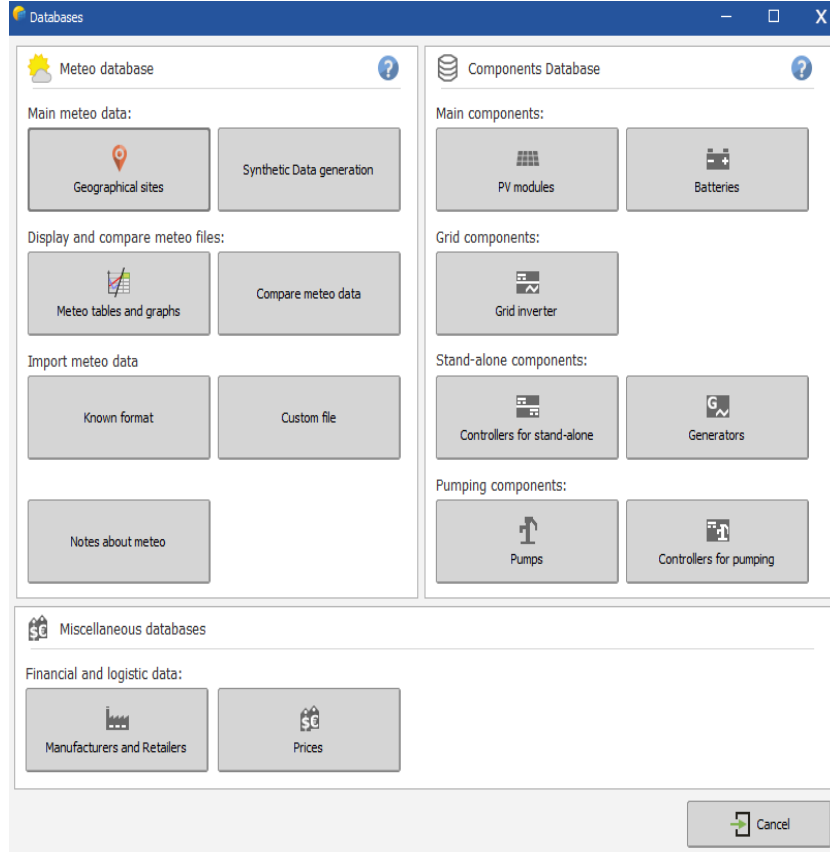
“Preliminary design”, ön tasarım kısmı olarak adlandırılan bölüm belirli bir durumda projeye potansiyelinin ve sınırların hızlıca belirlenmesini ve Fotovoltaik sistemlerin ön boyutlandırılması için kullanılabilir [18]. Görsel 3.3’de görüldüğü gibi şebeke bağlantılı veya depolamalı sistem mi olarak çalışacağı bu bölümden seçilmektedir.



Görsel 3.3. *PVsyst Preliminary design sayfası*

“Project design”, projenin çizim ve tasarımının yapıldığı kısım olarak adlandırılabilir. Sistem projelendirilmesinin yapılabildiği ve sistem parametrelerinin belirlendiği program yazılımını oluşturan ana kısımdır. Meteorolojik verilerin hesapları ve bu hesaplara göre seçimleri, sistemin tasarımı, gölgelendirme varsa çalışmaları oluşabilecek kayıpların belirlenmesi ve ekonomik değerlendirmeler bu kısımda yapılır. Simülasyon bir yıllık süreyi kapsayacak şekilde saatlik verilerle oluşturulur ve sisteme ait detaylı sonuçlar ve raporlanabilir [18].

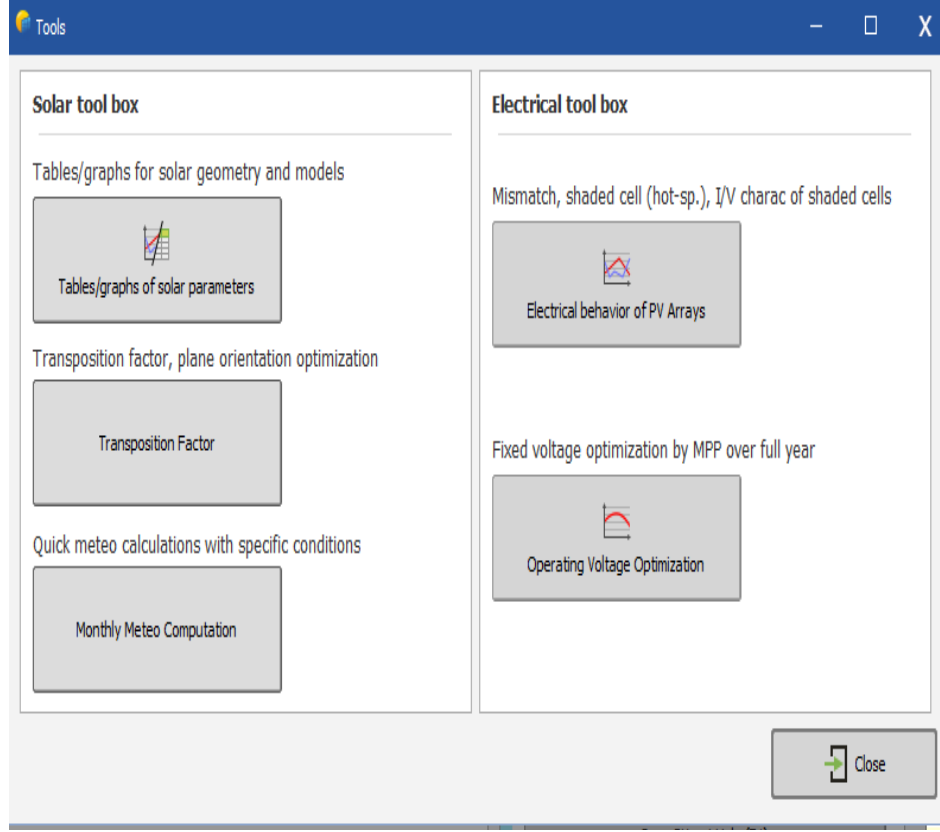
“Databases”, veri tabanı olarak adlandırılır. Programın bu sekmesinde, aylık ve yıllık iklim verilerini içeren, saatlik sentetik iklim verilerin türetilbildiği ve dışarıdan veri aktarımının da yapılabildiği bölümdür [18].



Görsel 3.4. PVsyst Databases sayfası

Görsel 3.4’de görüleceği üzere kullanılacak malzemelere örneğin panel, evirici, batarya gibi ürünlere erişilebilir. Eğer mevcut veri tabanında kullanacağımız marka ve modele ait ürün yoksa yeni bileşenler tanımlanabilmektedir [18]. Bizim simülasyon da kullanacağımız PEKINTAS SPE395 W panel veri tabanında bulunmadığı için panel verileri elle girilmiştir.

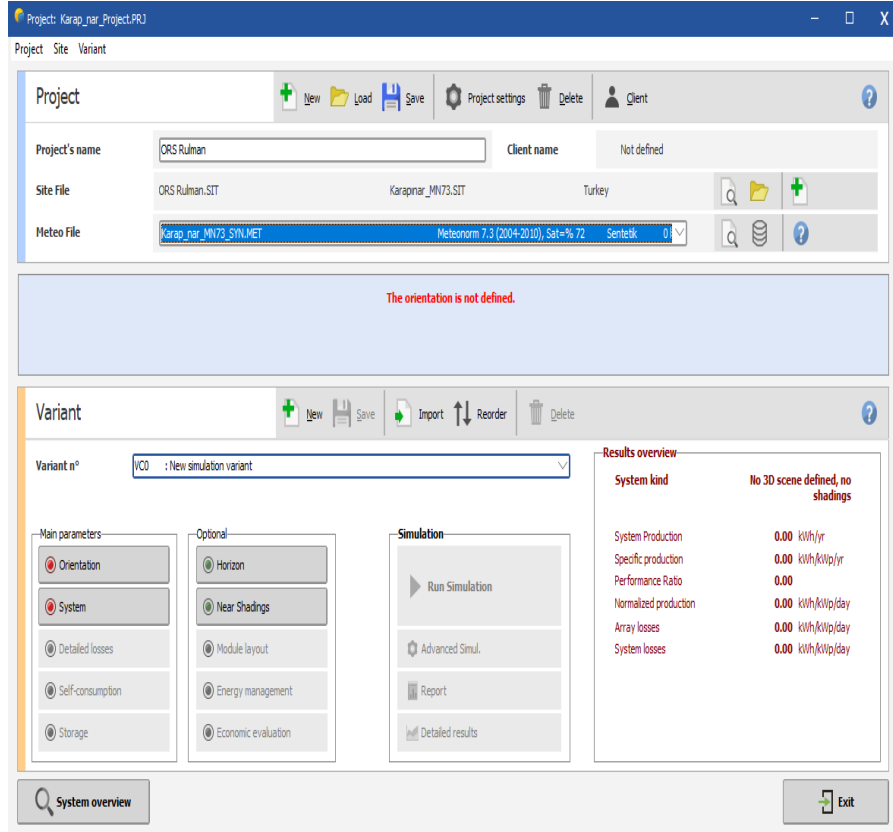
“Tools”, araçlar kısmı güneş sisteminin karakteristiğini hızlıca belirlemek için ek araçlar barındırır [18].



Görsel 3.5. PVsyst Tools sayfası

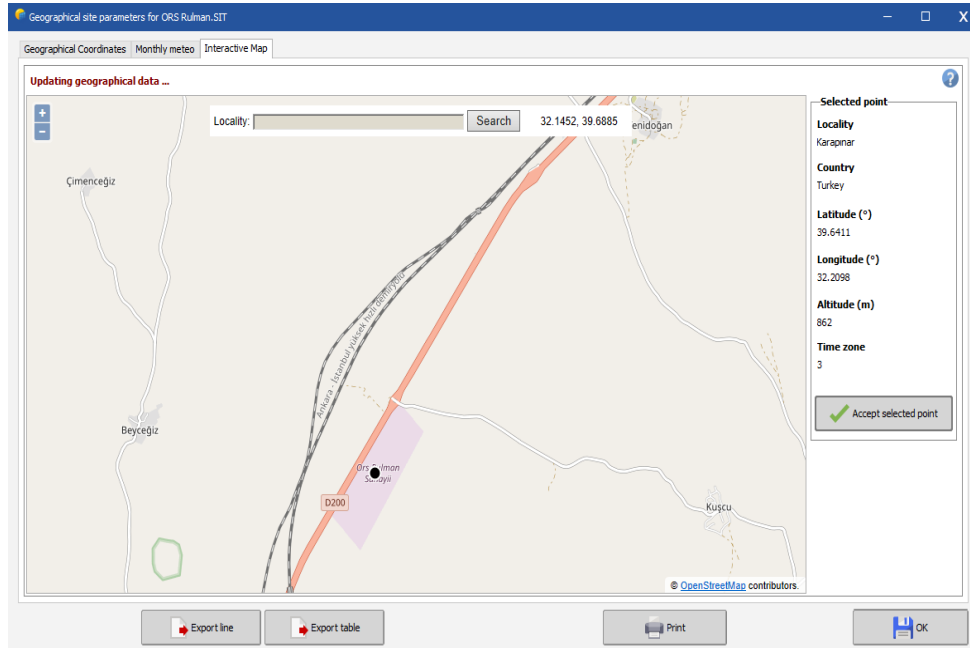
Bu çalışma da yapılacak olan tasarım şebeke bağlantılı Fotovoltaik sistem olacağı için Görsel 3.2’ de gösterildiği gibi “Project design” bölümünün alt başlığı olan “Grid connected” sekmesi seçilmiştir.

Şebeke bağlantılı sistem tasarımının seçiminin ardından Görsel 3.6’da bulunan proje yönetimi sayfası açılır. Bu sayfanın üst kısmında projeye ait temel bilgiler girilir. Projenin kurulacağı yer coğrafi olarak bu sayfada seçilir ve yöreye ait meteorolojik veriler programın veri tabanından çekilir. Sayfanın alt kısmında ise sistem değişkenleri olarak adlandırılabilen, benzetim sonuçlarını belirleyen sistemin detaylı olarak tanımlandığı kısım yer almaktadır. Bu detaylı tanımlamalara Fotovoltaik panel ve evirici seçimleri, panellerin ve eviricilerin sayısı, panel ve eviricilerin yerleşimi, gölgelenme, elektriksel bağlantılar ve ekonomik girdiler örnek olarak gösterilebilir [18].



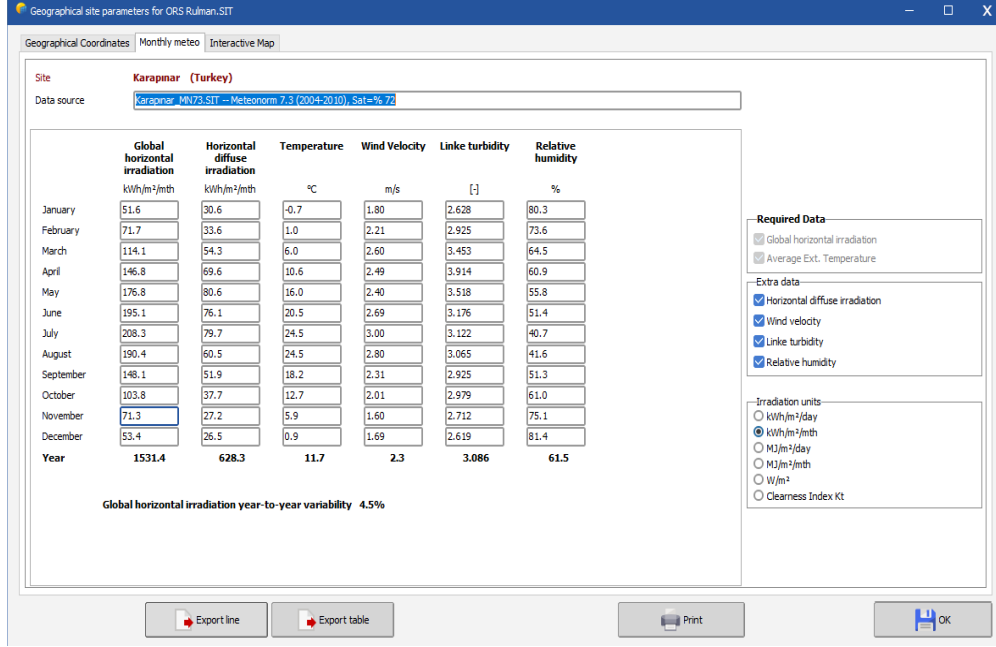
Görsel 3.6. Şebeke bağlantılı proje yönetimi sayfası

Daha sonra proje yönetimi sayfasının “Site file” bölümünden fabrika konumu Görsel 3.7’deki gibi işaretlenir.



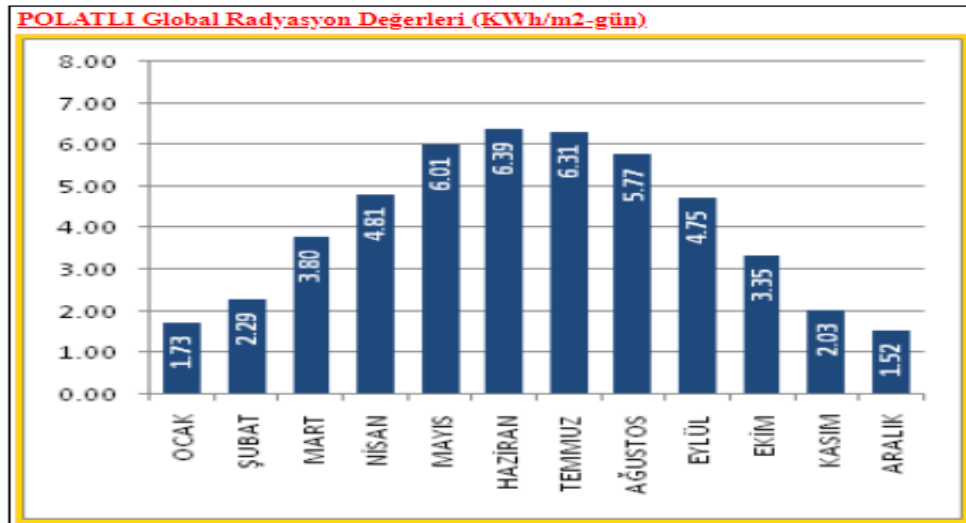
Görsel 3.7. PVsyst üzerinden coğrafi konum belirlenmesi

Coğrafi konum belirlendikten sonra Görsel 3.8’de görüldüğü gibi PVsyst veri tabanının da bulunan Metenorm 7.3 üzerinden direk üretilmiş bulunmaktadır.



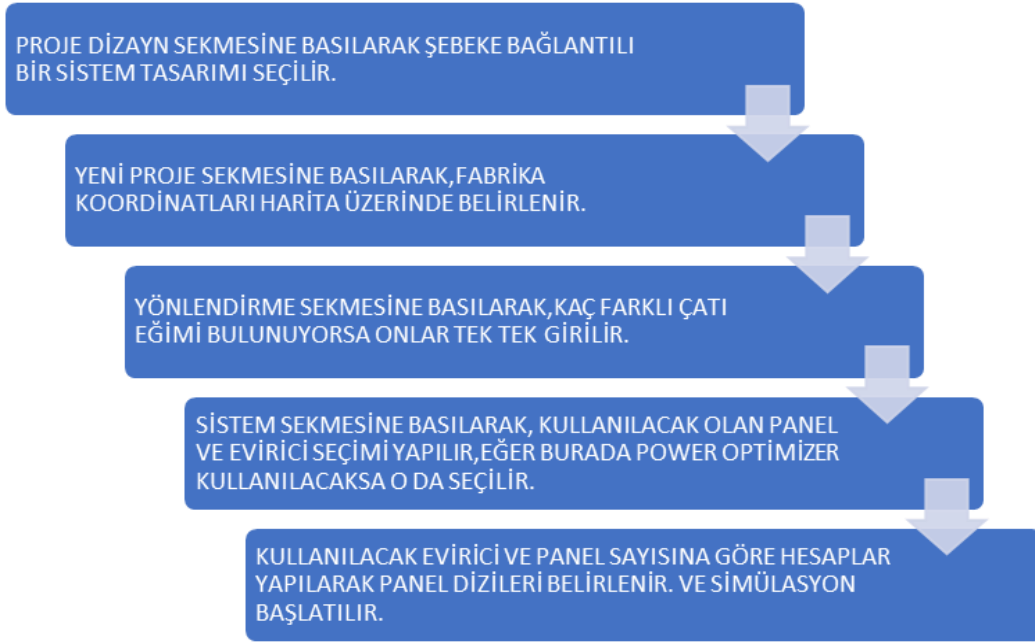
Görsel 3.8. PVsyst üzerinden alınan meteorolojik veriler

YEGM’ nin erişime sunduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası üzerinden alınan yöreye ait aylara göre ışınlam değerleri Şekil 3.2’de gösterilmiş. Verilerin yıllık ortalamalarına bakıldığında Metenorm veri tabanında 4,36 kWh/m²/gün olan değer YEGM verilerinde 4,06 kWh/ m²/gün’dür [19].



Şekil 3.2. YEGM üzerinden alınan meteorolojik veriler [20]

Tablo 3.1. *PVSYST* programı tasarım akış tablosu



3.3. Panel Yerleştirilecek Çatıların Ölçülerinin Alınması

Bu çalışmada seçilen fabrika çatıları 27 Ekim 2020 tarihinde, Google Earth programından yararlanılarak Görsel 3.9 'da daire içine alınmıştır.

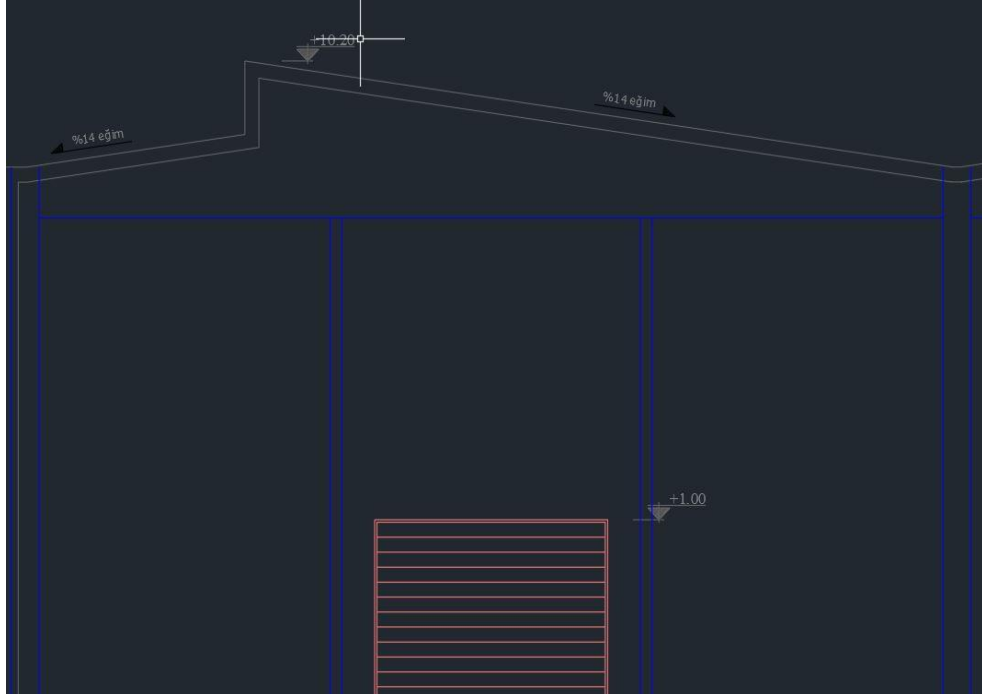


Görsel 3.9. *Ortadoğu Rulman Sanayi* kullanılacak olan çatılar

Bu çalışmada, sistem kapasitesinin belirlenebilmesi ve bu kapasiteye göre Fotovoltaik panel ve eviricilerin sayılarını belirleyebilmemiz için yine aynı tarih 27 Ekim 2020’de, Google Earth Pro programı kullanılarak çatı ölçüleri Görsel 3.10’da yaklaşık 25.000 m² olarak belirtilmiş ve bu fabrika Doğu-Batı-Güney eğiliminde olup Görsel 3.11’de ise çatı eğimi %14 olarak belirtilmiştir.



Görsel 3.10. *Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-3 çatı ölçüsü*

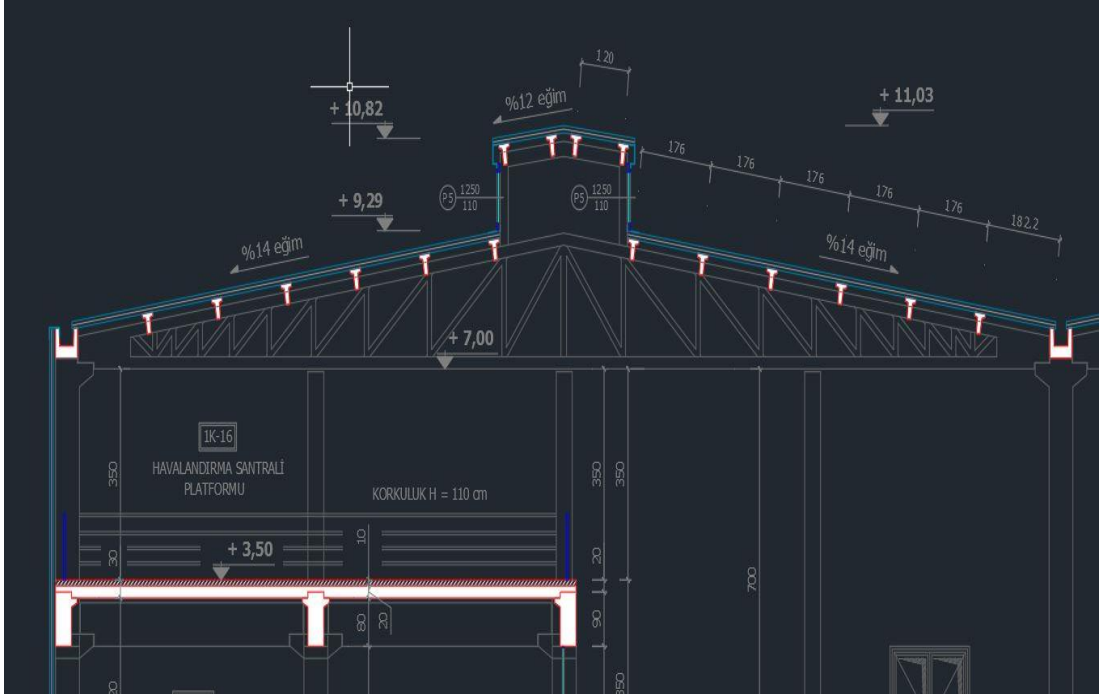


Görsel 3.11. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-3 çatı görseli

Fabrika 4A-B-C olarak tanımlanan bölge de yaklaşık 50.000 metrekarelik alan bulunmaktadır.



Görsel 3.12. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-4a-b-c çatı ölçüsü



Görsel 3.13. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-4a-b çatı görseli



Görsel 3.14. Ortadoğu Rulman Sanayi fabrika-4c çatı kesiti

Fabrika 4A-4B-4C fabrika çatıları Görsel 3.13 ve Görsel 3.14’ de belirtilmiştir. 2020 Haziran ayında devreye alınan Fabrika-4C çatısı fotovoltaik sistem kurulması planlanarak tasarlanmış ve Görsel 3.13 deki gibi ortada bulunan ışıklıklar burada bulunamamakta ve bu yüzden panel dizilimi ve çatının doğu batı yönünde olması verimi etkilemektedir. Görsel 3.13’de bulunan %12 eğime sahip olan ışıklık üstüne de

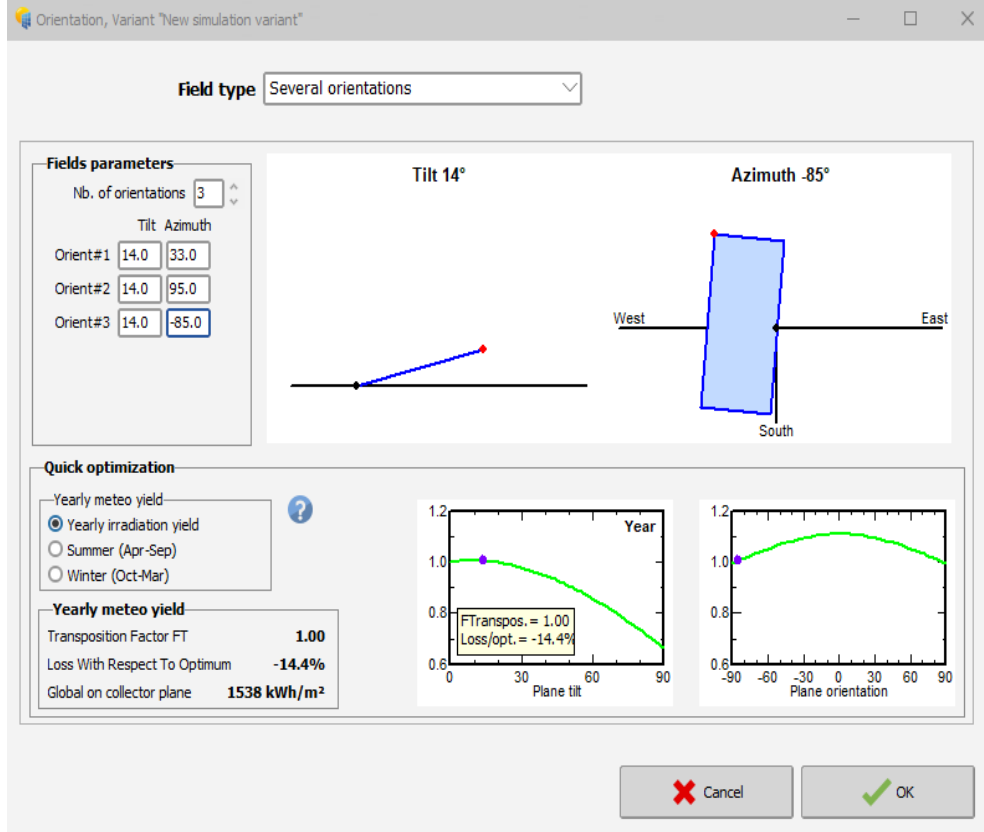
fotovoltaik panel yerleştirilmiş olup çatıda ki her müsait alan elektrik enerjisi için değerlendirilmiştir.

3.4. Panel Eğim ve Azimut Açısının Belirlenmesi

Fotovoltaik sistemlerin verimini ve performansını etkileyen iki farklı açı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi eğim açısı, diğeri ise azimut açısıdır. Yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusundaki açıdır. Yüzey azimut açısı güneyde sıfır, doğuya doğru negatif (-), batıya doğru pozitif (+)'dir [21]. Sistem performansını arttırmak için panelleri maksimum güneş açısını alacak şekilde yönlendirilmelidir. Fakat çatı projelerinde binanın mevcutta bulunan eğim ve azimut açısı kullanılacağından arazide ki gibi maksimum verim elde edecek şekilde panel dizilimi gerçekleştirilmemektedir.

Fotovoltaik panellerden enerji üretiminde, panellerin açıları, binanın yatay yüzeydeki açısal konumu ve azimut açıları oldukça önemlidir. PVsyst benzetim aracının "Orientation" kısmı tasarlanan sistemde yerleşimi yapılacak panellerin saha tiplerinin, bu alanlara ait yönelimlerin, eğim ve azimut açılarını belirtildiği yerdir. Alan tipleri arasında sabit eğimli yüzey, güneş takip sistemi, çoklu yönelim gibi birçok seçenek ve bu seçeneklere ait belirtilmesi gereken farklı girdiler vardır [22].

Yapılan bu çalışmada, çatıların farklı yönlere bakan üç yüzeyi olduğu için, üç yönelim için de azimut ve eğim açısı girilmesi gerekmektedir. Görsel 3.15'de PVsyst programında sisteme ait üç farklı çatı yönelimi için değerlerinin belirtildiği "Orientation" kısmının ekran görüntüsü verilmiştir.



Görsel 3.15. PVsyst eğim ve azimut açılarının belirlenmesi

3.5. Sistemde Kullanılacak Panel ve Eviricilerin Belirlenmesi

PVsyst benzetim yazılımı veri tabanında oldukça fazla panel ve evirici vardır. Her panel ve evirici için teknik özelliklerin her biri veri tabanında tanımlanmıştır.

Bu çalışmada, yerli panel üreticisi olan Schmid-Pekintaş firması tarafından üretilen 395W gücünde SE395 monoperc panel tercih edilmiştir. Ve veri tabanında bu panel olamadığı için teknik özellikleri el ile tanımlanmıştır. Evirici ise çatı üzeri uygulamalar da hem güvenlik olarak hem de verimlilik açısından diğer konvansiyonel eviricilere göre daha avantajlı olduğunu yapılan uygulamalar da gösteren optimizierli evirici ve geleneksel optimizersiz evirici tercih edilmiştir. Aynı panel için iki farklı evirici kullanılarak Görsel 3.16 ve 3.17 de belirtilmiştir.

Grid system definition, Variant VCD: "Yeni simülasyon varyantı"

Sub-array

Sub-array name and Orientation

Name:

Orient:

Tilt:

Azimuth:

Pre-sizing Help

☐ No sizing

Enter planned power: kWp

☐ ... or available area(modules): m²

☒ Resize

Select the PV module

Mevcut: Filter:

Approx. needed modules: **6271**

SCHMID PEKINTAS 395 Wp 35V Si-mono SPE395-72M Manufacturer:

☒ Use optimizer:

Sizing voltages: Vmp (60°C): **35.4 V**

Voc (-10°C): **54.1 V**

Select the inverter

Mevcut:

Output voltage: 400 V Tri 50Hz

33.3 kW Fixed 750 V TL 50/60 Hz SE33.3K (400V) 2020 yılından beri

Nb. concerned inv.:

Operating voltage: **750 V** Inverter power used: **2398 kWac**

Input maximum voltage: **1000 V** SolarEdge Architecture

☒ 50 Hz

☒ 60 Hz

Array Design for SolarEdge architecture

Optimizer input

Nb. optimizers in series:

=> 1 string = 34 modules, Pnom = 12422 Wp

i.e. Part of the inverter capacity: **30 %**

Nb. strings in parall.:

Pnom ratio: **0.74** Overload loss: **0.0 %**

nb. modules: **4862** Area: **9675 m²**

Reference for sizing

Max. power: **731 W / optimizer** (acc. to best clear sky conditions)

Plane irradiance: **1000 W/m²**

The inverter power is slightly oversized.

☐ Max. in data

☒ STC

Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C): **1741 kW**

Array nom. Power (STC): **1920 kWp**

List of subarrays

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
PV dizisi		
SCHMID PEKINTAS - SPE395-72M	34	143
SolarEdge - SE33.3K (400V)	72	1

Global system summary

Nb. of modules	4862
Module area	9675 m²
Nb. of inverters	72
Nominal PV Power	1920 kWp
Maximum PV Power	1819 kWDC
Nominal AC Power	2398 kWAC
Pnom ratio	0.801

Görsel 3.16. PVsyst panel ve optimizierli evirici ve optimizier seçim ekranı

Grid system definition, Variant VC0: "Yeni simulasyon varyantı"

Sub-array

Sub-array name and Orientation

Name: PV dizisi

Orient: Yönlendirme #1

Tilt: 8°

Azimuth: 33°

Pre-sizing Help

☐ No sizing

Enter planned power: 2477.0 kWp

☐ ... or available area(modules): 12479 m²

☒ Resize

Select the PV module

Mevcut

Filter: Tüm PV modüller

Approx. needed modules: 6271

SCHMID PEKINTAS

395 Wp 35V Si-mono SPE395-72M

Manufacturer

Open

☐ Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 35.4 V

Voc (-10°C) 54.1 V

Select the inverter

Mevcut

Output voltage 400 V Tri 50Hz

ABB

100 kW 360 - 1000 V TL 50/60 Hz PVS-100-TL

Since 2017

Open

Nb of MPPT inputs: 114

☒ Use multi-MPPT feature

Operating voltage: 360-1000 V

Inverter power used: 1900 kWac

Input maximum voltage: 1000 V

inverter with 6 MPPT

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 16

☐ between 11 and 18

Nb. strings: 392

☒ between 301 and 392

Overload loss: 0.5 %

Pnom ratio: 1.30

Show sizing

Nb. modules: 6272

Area: 12481 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C) 567 V

Vmpp (20°C) 665 V

Voc (-10°C) 866 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Imp (STC) 3797 A

Isc (STC) 3998 A

Isc (at STC) 3998 A

Max. in data

Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) 2245 kW

STC

Array nom. Power (STC) 2477 kWp

The array has 392 strings to be distributed onto 114 MPPT inputs

List of subarrays

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
PV dizisi		
SCHMID PEKINTAS - SPE395-72M	16	392
ABB - PVS-100-TL	19	114

Global system summary

Nb. of modules	6272
Module area	12481 m²
Nb. of inverters	19
Nominal PV Power	2477 kWp
Maximum PV Power	2346 kWDC
Nominal AC Power	1900 kWAC
Pnom ratio	1.304

System overview

Simplified sketch

Cancel

OK

Görsel 3.17. PVsyst panel ve geleneksel evirici seçim ekranı

3.6. PV Panel Kapasite Seçimi

Fabrikada kurulacak olan çatı üstü güneş enerjisi tesisi için 7690 kWp'lık kurulu

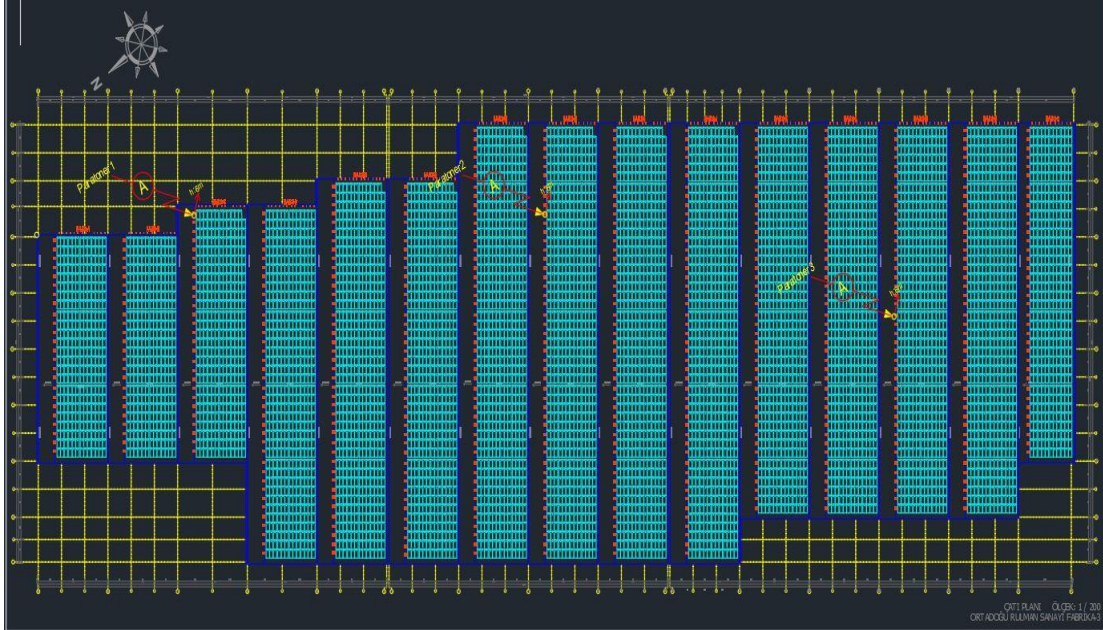
Güç tercih edilmiştir. Bu tercihin yapılmasında gerek ekonomik ve gerekse de teknik nedenler etkileyici olmuştur. Bu sistem fabrikanın tüketmiş olduğu elektrik ihtiyacının bir bölümünü üretecek ve gerekli olan enerjiyi ise kojenerasyon tesisinden üretilmeye devam edilecektir. Tüketilen enerjiden fazla üretilen enerji var ise 01.07.2020 tarihi ile yürürlüğe giren yenilenebilir enerji kaynaklarının belgelendirilmesi ve desteklenmesine ilişkin yönetmeliğinin 2. maddesine göre birleşik yenilenebilir elektrik üretim tesisinde üretilerek sisteme verilen net enerji miktarı, üretim tesisinde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları için belirlenen fiyatlardan en düşük olanı üzerinden sisteme verilmek üzere tasarlanmıştır.

Uygulama yapılacak fabrika hem güneşlenme haritasında hem de farklı bağımsız uydu ve meteoroloji kaynaklarındaki güneşlenme değerleri göz önüne alındığında iyi seviyede güneşlenme değerlerine sahip bir bölge olarak göze çarpmaktadır. Bu nedenle, güneş santrali yatırımına uygun bir bölge olarak nitelendirilmektedir.

Fotovoltaik güneş santrallerinin en önemli sistem bileşeni Fotovoltaik paneldir ve üretilecek olan tüm enerji öncelikle güneş panelinin performansına bağlıdır. Panelin en çok üretim yapacağı yaz aylarında yüksek performansa sahip olması, ayrıca kışın da düşük ışık durumlarında da enerji üreterek toplam üretime katkıda bulunması performansı artıran önemli etkenlerdir. Panelin performansı kadar, panel üreticisinin güvenilirliği, finansal durumu, satış sonrası hizmetleri de santral kurulumundan sonra gerekli olabilecek hizmetler açısından büyük önem taşımaktadır. Aynı bölge içerisinde bulunan 3 ayrı fabrika ayrı teknik değerlendirme ve tasarım kriterleri ışığında hazırlanmıştır.

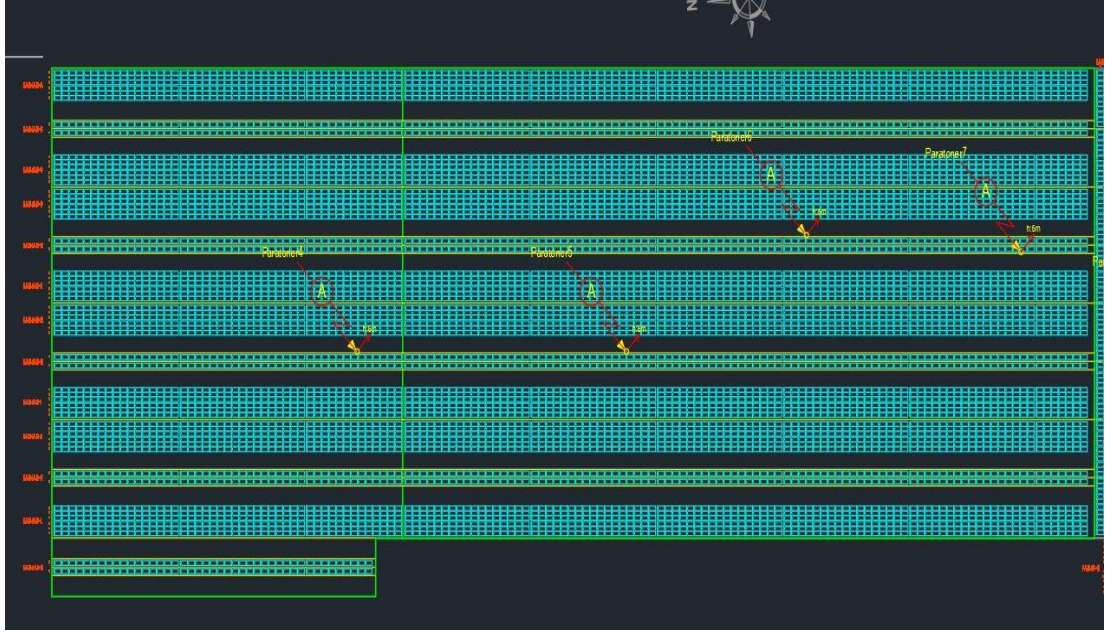
Her bir fabrikada kurulması planlanan santrallerde 395 Wp monokristal panel kullanılmış olup toplam da 19.470 adet panel ve bu panellere bağlı olarak toplam kurulu güç 7.690 kWp olmaktadır.

Görsel 3.18 ‘de görüleceği üzere 25.000 m² sahip Fabrika 3 çatısında toplam 7552 adet panel bulunmakta ve bu panellerin de kurulu DC gücü 2.983 kWp olmaktadır.



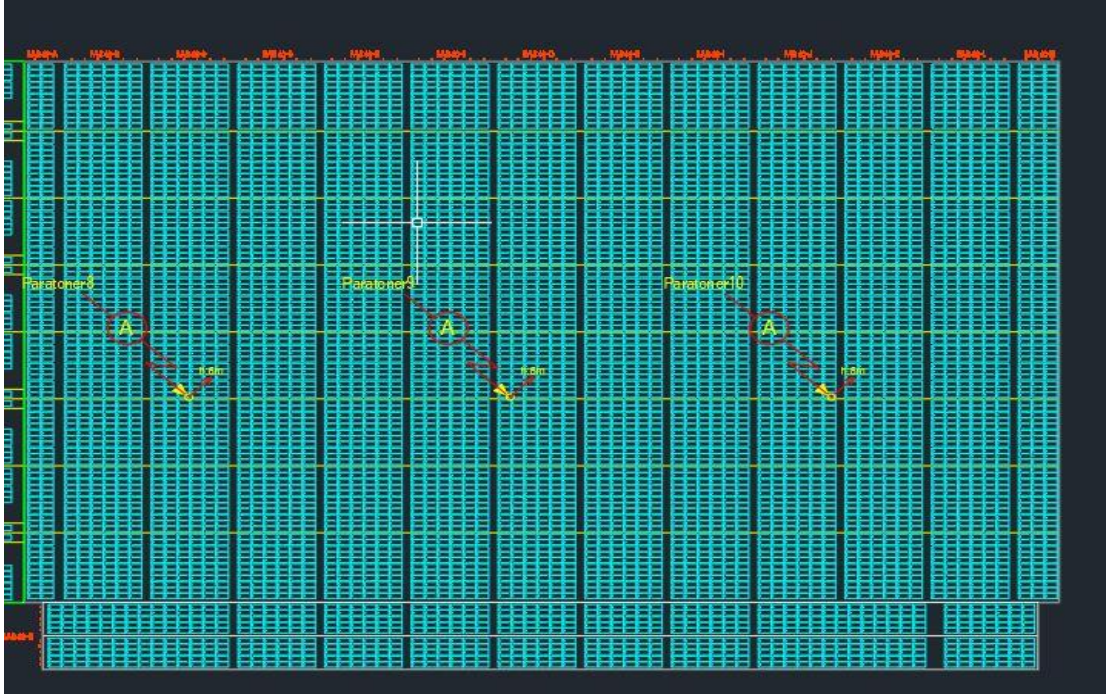
Görsel 3.18. *Fabrika 3 çatı panel yerleşimi*

Görsel 3.19 ‘da görüleceği üzere Fabrika 4A-4B çatısında toplam 6270 adet panel bulunmakta ve bu panellerin de kurulu DC gücü 2.476 kWp olmaktadır.



Görsel 3.19. *Fabrika 4A-4B çatı panel yerleşimi*

Görsel 3.20 'de görüleceği üzere Fabrika 4C çatısında toplam 5648 adet panel bulunmakta ve bu panellerin de kurulu DC gücü 2.230 kWp olmaktadır.



Görsel 3.20. *Fabrika 4C çatı panel yerleşimi*

3.7. Teknik Değerlendirme

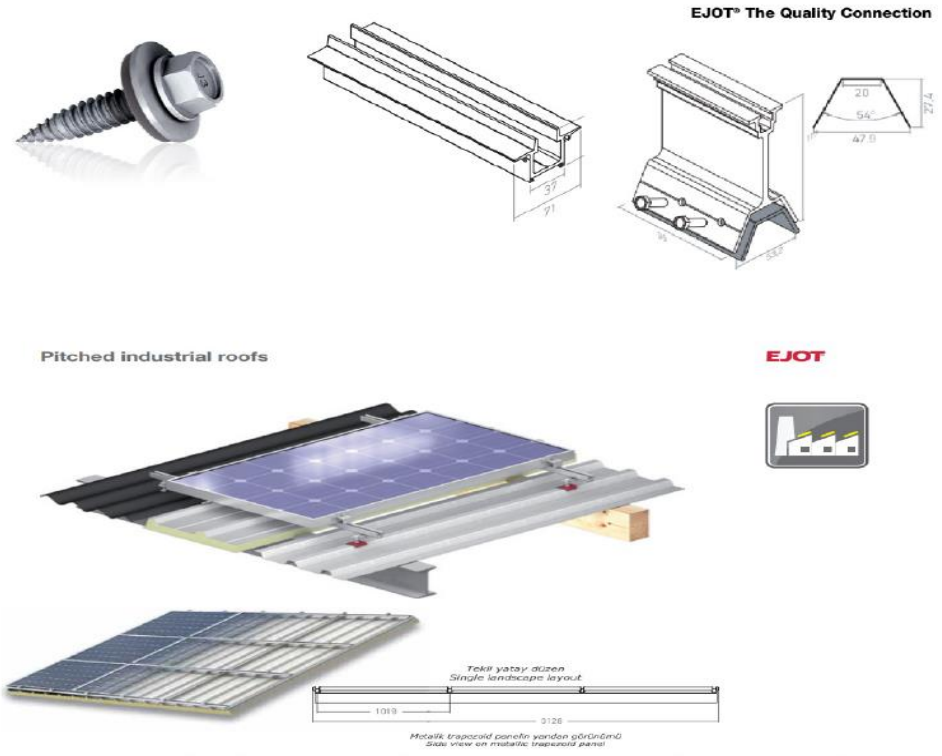
Fabrika çatılarında uygulanacak sistem ile ilgili teknik yaklaşım ve detaylar bu bölümde belirtilmiştir.

3.7.1. Mekanik montaj ve tasarımı

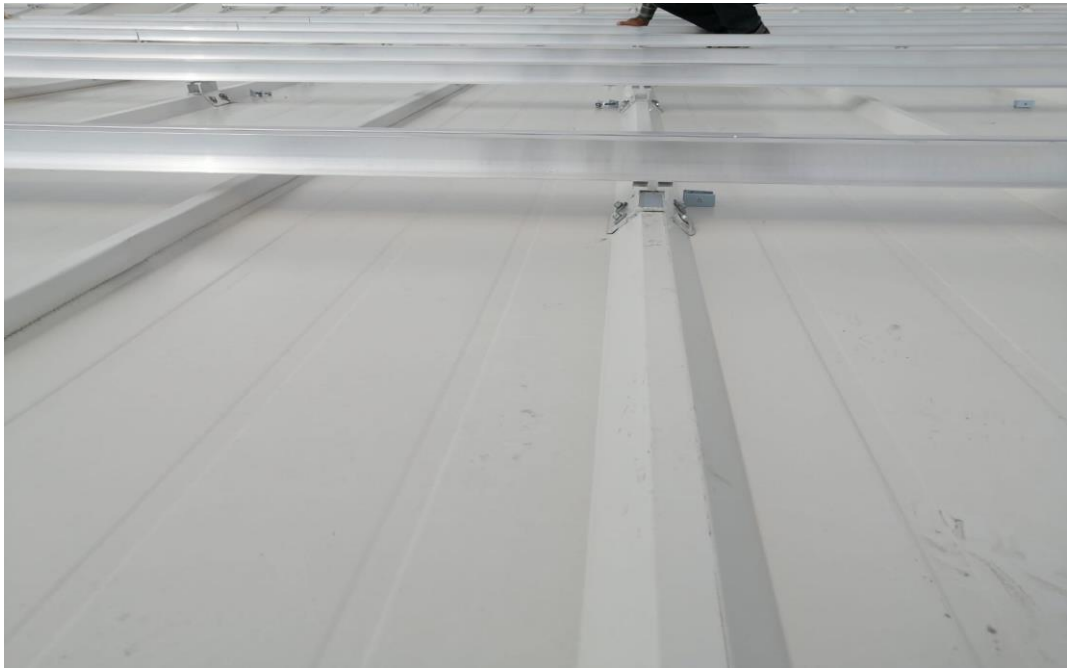
Her fabrika çatısı aynı tipte konstrüktif yapıya sahip olmakla beraber, farklı açılara ve yerleşime sahiptir. Güneş enerjisi panellerinin monte edilecek çatıların altında devam etmekte olan üretim ve çatı altında konumlanmış değerli makine ve sistemler dikkate alındığında, binanın statik açıdan uygunluğu, mal ve can güvenliği ön planda tutularak hem minimum ağırlık hem de maksimum verim sağlanması hedeflenmiştir.

Bu bağlamda; Mekanik projeler esas alınarak yapılan ön tasarımda, çatı üzerine monte edilecek panel ve ilgili konstrüksiyon ağırlıklarının sandviç panel üzerine değil, taşıyıcı kirişlere taşınması için bağlantı elemanları ve bu bağlantı elemanlarının üzerine yerleşecek klemp slotlu alüminyum profiller ile panel altı Görsel 3.21'deki gibi konstrüksiyon tasarlanmıştır.

Alüminyum profillerin tutturulacağı ayakların kirişlere denk gelecek şekilde montajı, açılı ve su sızdırmaz, patentli EJOT vidalar ile yapılması öngörülmüştür. Sandviç panel üzerine açılacak delikler her ne kadar EJOT vidalar ile yapılacak olsa da su tahliye kanallarının üzerinde olacağı için yalıtım açısından sorun yaratmayacaktır. Ayrıca taşıyıcı ayakların sandviç panel ile temas edeceği kısım EPDM contalar ile hem sürtünme etkilerini minimize edecek hem de vibrasyonu absorbe ederek uzun vadede sistem bütünlüğünü muhafaza edecektir (Görsel 3.21).



Görsel 3.21. *Panel montajında kullanılacak ekipmanlar*



Görsel 3.22. *Örnek sandviç panel çatı montaj resmi-1*

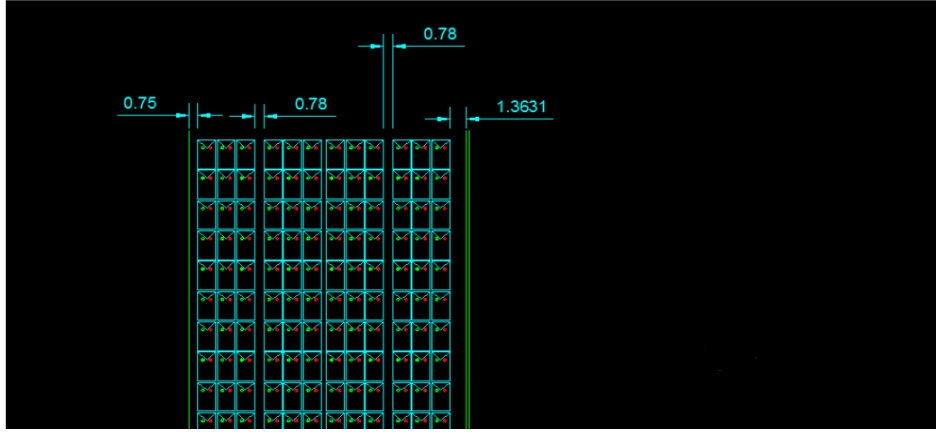


Görsel 3.23. Örnek sandviç panel çatı montaj resmi-2

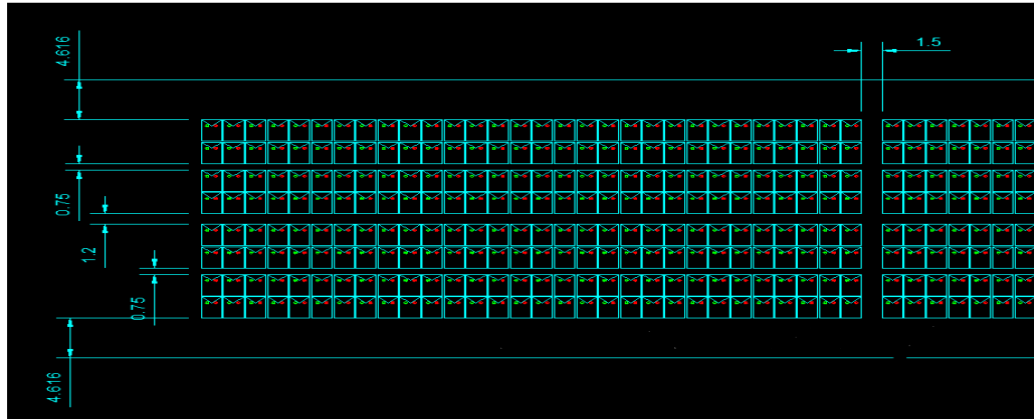
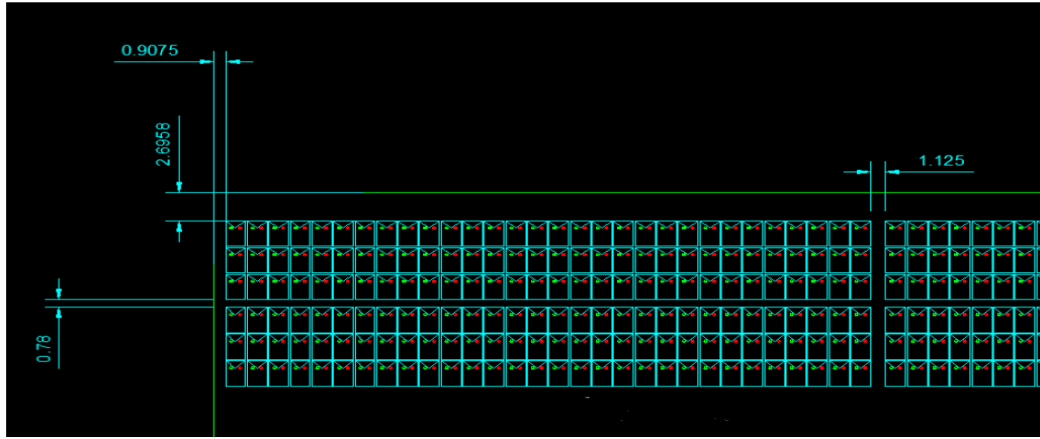
Görsel 3.22’de örnek bir çatı uygulamasına yapılan konstrüksiyonun montaj resmi görülmektedir. Bu konstrüksiyon çatı montajın da rüzgâr yükünün en aza indirilmesi için, çatı eğiminde olmalı ve mümkün olduğunca sandviç panel ile arasındaki mesafenin de minimuma indirgenmesi gerekmektedir. Bununla beraber yapılacak olan konstrüksiyon lineer olacak şekilde Görsel 3.23’de görüleceği üzere montajı yapılması gerekmektedir.

3.7.2. Elektrik montaj ve tasarımı

Çatı üzerine yerleştirilecek paneller, en yüksek gücü elde edilecek şekilde yerleştirilmiş, ayrıca işletme ve iş güvenliği açısından optimum yerleşim hedeflenmiştir. İSG açısından problem oluşturmayacak şekilde tüm çatı panel ile doldurulmuştur. Fabrika çatılarında, panel yerleşimi yapılırken bakım dönemi ve montaj aşamasında yürüme yolu amacı ile gerekli boş alanlar planlanmış olup Görsel 3.24 ve 3.25 ‘de görülmektedir.



Görsel 3.24. *Fabrika 3 çatı yürüme yolları*



Görsel 3.25. *Fabrika 4A-4B-4C çatı yürüme yolları*

Panel montajı ve yürüme yolları ayrıldıktan sonra dc kablolama yapabilmek için ilk başta eviricilerin yerinin belli olması gerekmektedir. Çatının büyüklüğü ve çatılarda kullanılacak evirici sayılarının optimizasyonu evirici kullanıldığında 181 adet, geleneksel

tipde evirici kullanıldığında ise 61 adet olacağından ayrı bir bölme ve kapalı bir yer de muhafaza etmek soğutma ihtiyacı gerektireceğinden kullanılacak olan eviricileri dış cepheye gelecek şekilde montaj etmeye karar verildi. Fabrika 3 bölgesinde Görsel 3.26'da görüleceği üzere çatı da bulunan aydınlatma pencerelerinin bulunduğu bölgelere montajı yapılacaktır.



Görsel 3.26. *Fabrika 3 evirici montaj yeri*

Fabrika 4A ve 4B'de de Görsel 3.27'de görüleceği üzere Fabrika 3'de olduğu gibi aydınlatma pencerelerinin kenarlarına montajına yapmak DC kablolanın kesitlerinin büyümesini engelleyecek ve yatırım maliyetlerini az da olsa aşağıya çekecektir. Fabrika 4C'de ise Görsel 3.28'de çatı da montaj yapılacak alan olmadığından fabrikanın doğu tarafında fabrika duvarına montajı yapılacaktır.

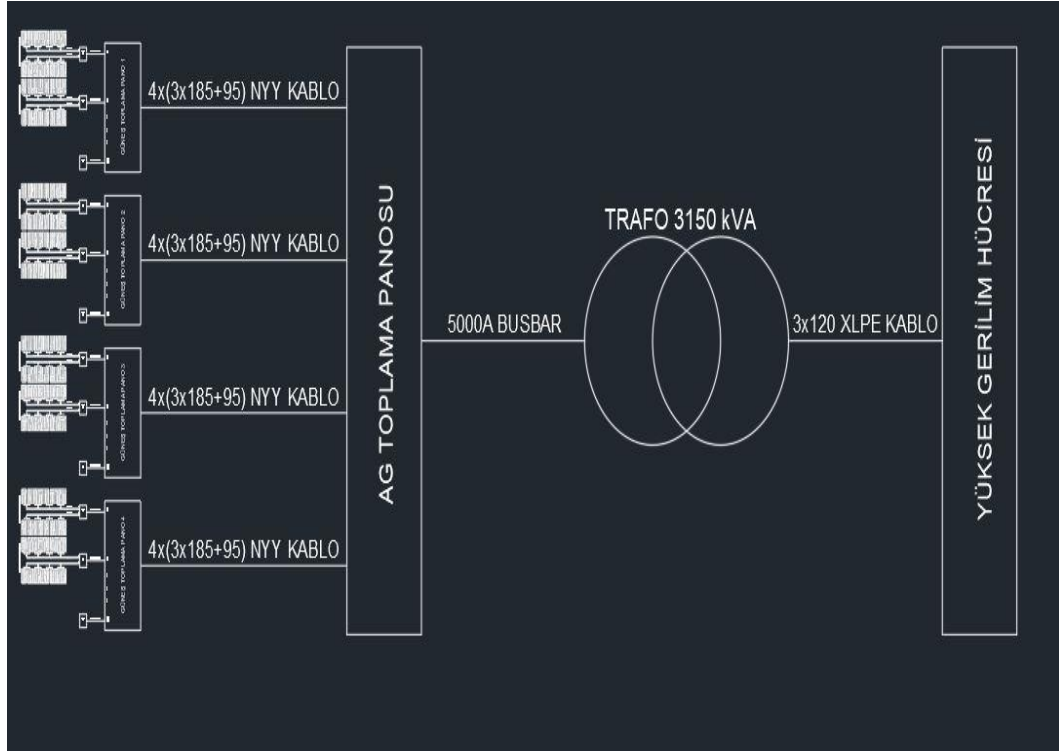


Görsel 3.27. Fabrika 4A-4B evirici montaj yeri



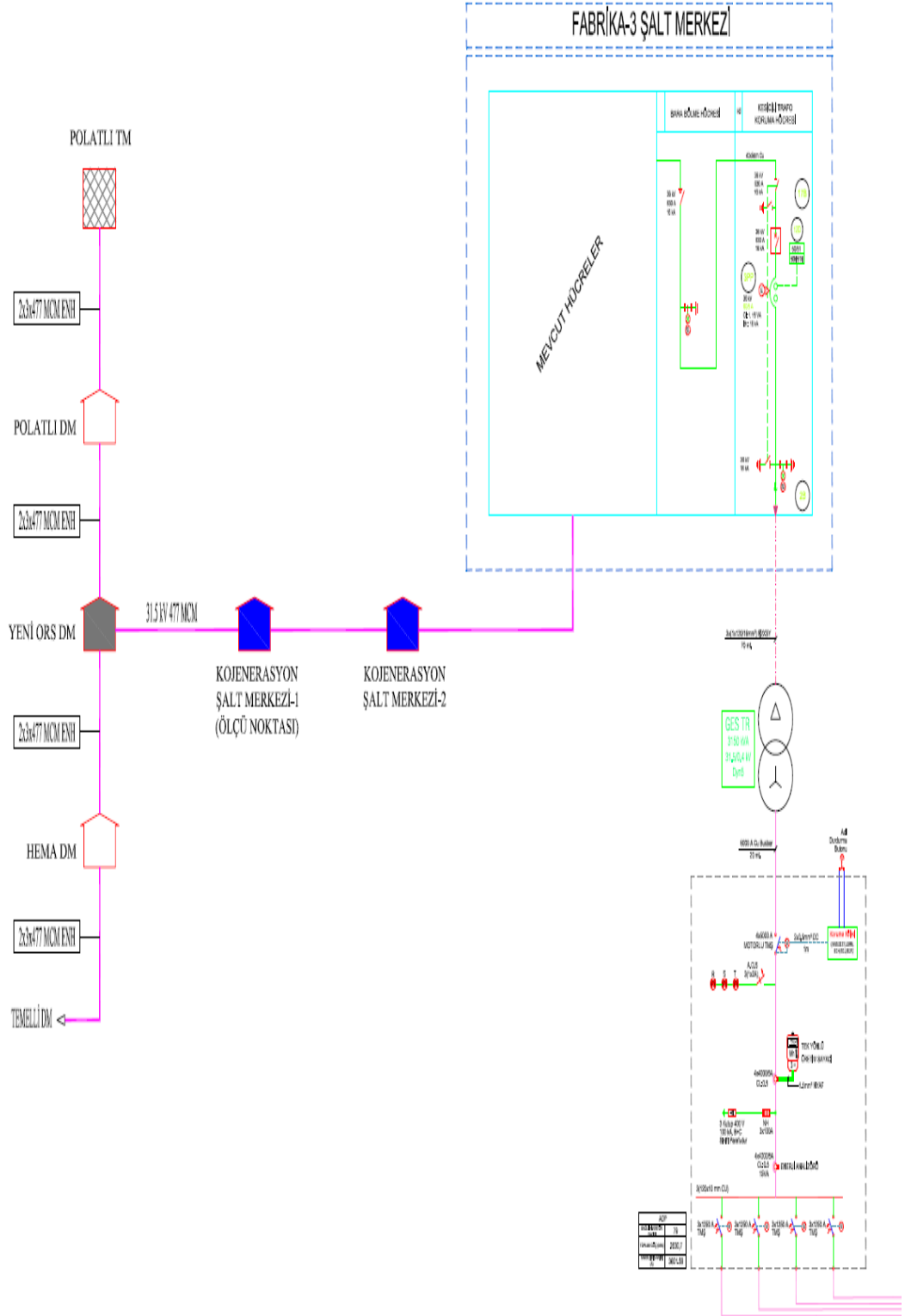
Görsel 3.28. Fabrika 4C evirici montaj yeri

Her bir fabrika, gerilim düşümleri, işletme kolaylıkları ve teknik dayanaklara istinaden 3 ayrı zonlama yapılarak, fabrika içerisine konulacak 380V/31.5kV trafolar ile gerilimi yükseltilerek fabrikalarda bulunan orta gerilim şalt sahasının orta gerilim barasına saplanacaktır.

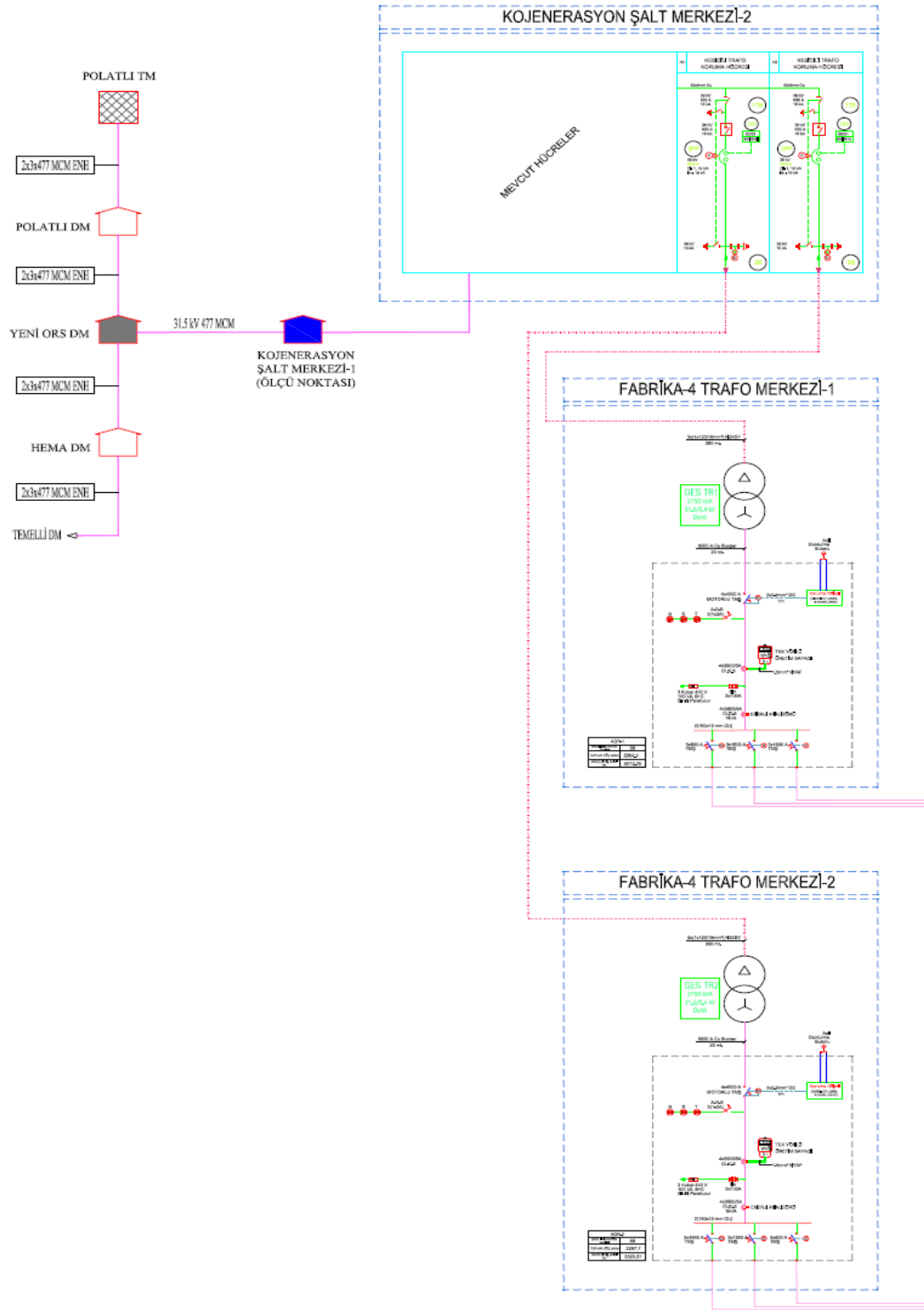


Şekil 3.3. ORS GES şematik gösterimi

Şekil 3.3’ de montajı yapılacak olan bir fabrika için sistemin şematik gösterimi bulunmaktadır. Bu görsele göre, paneller ile oluşturulan diziler eviricilerin kanal sayısına göre dc kanallarına bağlanmaktadır. Eviriciden çıkan 400 VAC gerilim ise eviricilere yakın yerde konumlandırılacak GES toplama panosuna bağlanacaktır. GES toplama panolarından çıkan AG kabloları trafo yanına konumlandırılacak GES ana toplama panosuna bağlanacak ve buradan 5000 A Bus-Bar ile 0,4 / 31,5 kV gerilime yükseltilerek fabrika da bulunan yüksek gerilim şalt sahasına saplanacaktır.



Şekil 3.4. Fabrika-3 GES orta gerilim tek hat şeması



Şekil 3.5. Fabrika-4 GES orta gerilim tek hat şeması

Şekil 3.4 ve 3.5’da GES için kurulacak trafoların tek hat şeması bulunmaktadır. Fabrika 3 de kurulumu planlanan 2.983 kWp için 1 adet 3150 KVA trafo konulması planlanmaktadır. Bu yüzden Fabrika-3 de bulunan 11 adet AREVA marka yüksek gerilim hücrelerin üretimi olmadığından, GES için konulacak trafonun koruma hücresi

mevcut hücrelere bara bölme hücresi ile Şekil 3.4 gibi montajı yapılacaktır. Fabrika 4A-4B-4C toplam gücü 4.706 kWp için konulması planlanan iki adet 2750 KVA trafolar Şekil 3.5’da görüleceği üzere fabrika kojenerasyon tesisinin yüksek gerilim hücrelerinin bulunduğu şalt sahasına bara bölme hücresi konulmadan montajı yapılması planlanmaktadır.

3.7.3. Kullanılacak olan panel ve evirici özellikleri

Sistem tasarımında kullanılması planlanan Schmid-Pekintaş’ın monokristal SPE395 panelidir. Bu panelinin kullanılmasındaki amaç ise yerli panel kullanarak KDV teşviklerinden yararlanmak hem de teknik özellikleri diğer firmalar ile kıyaslandığında son derece iyi olmasından dolayı tercih edilmiştir. Teknik özellikleri Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’de belirtilmiştir.

Tablo 3.2’de panelin standart test koşulları ve standart sıcaklık altında yapılan testler sonucu elde edilen değerler belirtilmiştir. Bu test sonuçlarına göre panelin maksimum gücü 395W, maksimum güçte gerilimi 41,01 V, maksimum güçte akımı 9,64 A, açık devre gerilimi 49,08 V, kısa devre akımı ise 10,20 A olarak ölçülmüştür. Tablo 3.3’de ise nominal çalışma sıcaklığında yapılmıştır. Bu test koşullarına göre panelin maksimum gücü 299 W, maksimum güçte gerilimi 39,43 V, maksimum güçte akımı 7,59 A, açık devre gerilimi 48,35 V, kısa devre akımı ise 8,10 A olarak ölçülmüştür. Bu test sonuçlarına göre panel üretim performansını etkileyen eğim açısı ve azimut açısı dışında bir de sıcaklık görülmektedir. Fazla ısınan panel de verim kayıpları olacaktır. Bu yüzden sistem tasarımını yaparken çatı ile montajı arasında doğal soğutma yapacak şekilde boşluk bırakılarak yeteri kadar soğuması sağlanmalıdır.

Tablo 3.5’ de ise panelin mekanik özellikleri bulunmaktadır. Kullanacağımız panelin mekanik ölçüleri 1990x1000x40 mm, 72 hücreli ve 23 kg ağırlığındadır.

Tablo 3.2. Fotovoltaik panel standard test koşulları elektriksel özellikler (STC)[23]

PEKINTAS SPE395	
Maksimum Güç Noktası (Pmax)	395 W
Maksimum Güçte Gerilim (Vmpp)	41,01 V
Maksimum Güçte Akım (Imp)	9,64 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	49,08 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	10,20 A

Tablo 3.3. Fotovoltaik panel nominal hücre çalışma sıcaklığı elektriksel özellikler (NOTC)[23]

PEKINTAS SPE395	
Maksimum Güç Noktası (Pmax)	299 W
Maksimum Güçte Gerilim (Vmpp)	39,43 V
Maksimum Güçte Akım (Impp)	7,59 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	48,35 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	8,10 A

Tablo 3.4. Fotovoltaik panel sistem özellikleri [23]

PEKINTAS SPE395	
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 Vdc
İşletme Sıcaklığı	-40 C° -+ 85 C°
Maksimum Seri Sigorta Değeri	15 A
Maksimum Statik Yük (Pa)	5400 Pa
Yangın Sınıfı	C

Tablo 3.5. Fotovoltaik panel mekanik özellikler [23]

PEKINTAS SPE395	
Panel Ölçüleri	1990mmx1000mmx40mm
Hücre	Monokristal
Hücre Sayısı	72
Ağırlık	23 Kg
Konnektör	MC4 uyumlu

Sistem tasarımında kullanılması planlanan iki adet evirici modeli bulunmakta bunlardan bir tanesi optimizierli solar eviricinin teknik özellikleri Tablo 3.6’da belirtilmiştir, diğeri de geleneksel eviricinin de teknik özellikleri Tablo 3.7’de belirtilmiştir. Bu iki eviricinin teknik özelliklerine bakıldığında iki eviricinin giriş gerilimi de 1000Vdc, nominal giriş gerilimi optimizierli evirici de 750 V, geleneksel evirici de ise 620 V, optimizierli evirici 33,3 kW, geleneksel evirici ise 100 kW’tır. Güce bağlı olarak optimizierli evirici kullanılırsa 182 adet, geleneksel evirici kullanılırsa 61 adet evirici kullanılacağı hesaplanmıştır. Bu iki evirici seçilmesinin nedeni ise; evirici üzerine power optimizier bağlanan bir ürün diğeri evirici ise konvansiyonel standart bir evirici olduğu için aynı panel tipinde iki eviricinin performans karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 3.6. Optimizerli 33.3kW Evirici teknik özellikleri [24]

Optimizerli Evirici 33.3 kw	
Maksimum DC Giriş Gerilimi	1000 Vdc
Nominal Giriş Gerilimi	750 V
Maksimum Giriş Akımı	48,25 Adc
Maksimum Verim	%98,3
Maksimum AC Çıkış Gücü	33,3 kW
Nominal AC Şebeke Gerilimi	400 VAC
Boyutlar	32 Kg
Ağırlık	836 x 317 x 300 mm
Garanti Süresi (Standart)	12 Yıl

Tablo 3.7. Geleneksel evirici teknik özellikleri [25]

Geleneksel Evirici 100 kW	
Maksimum DC Giriş Gerilimi	1000 Vdc
Nominal Giriş Gerilimi	620 V
Maksimum Giriş Akımı	36 Adc
Maksimum Verim	%98,4
Maksimum AC Çıkış Gücü	100 kW
Nominal AC Şebeke Gerilimi	400 VAC
Boyutlar	869x1086x419 mm
Ağırlık	125 Kg
Garanti Süresi (Standart)	5 Yıl

Çatı üstü güneş enerji sistemlerinde optimizerli eviricinin geleneksel eviriciye karşı avantajları;

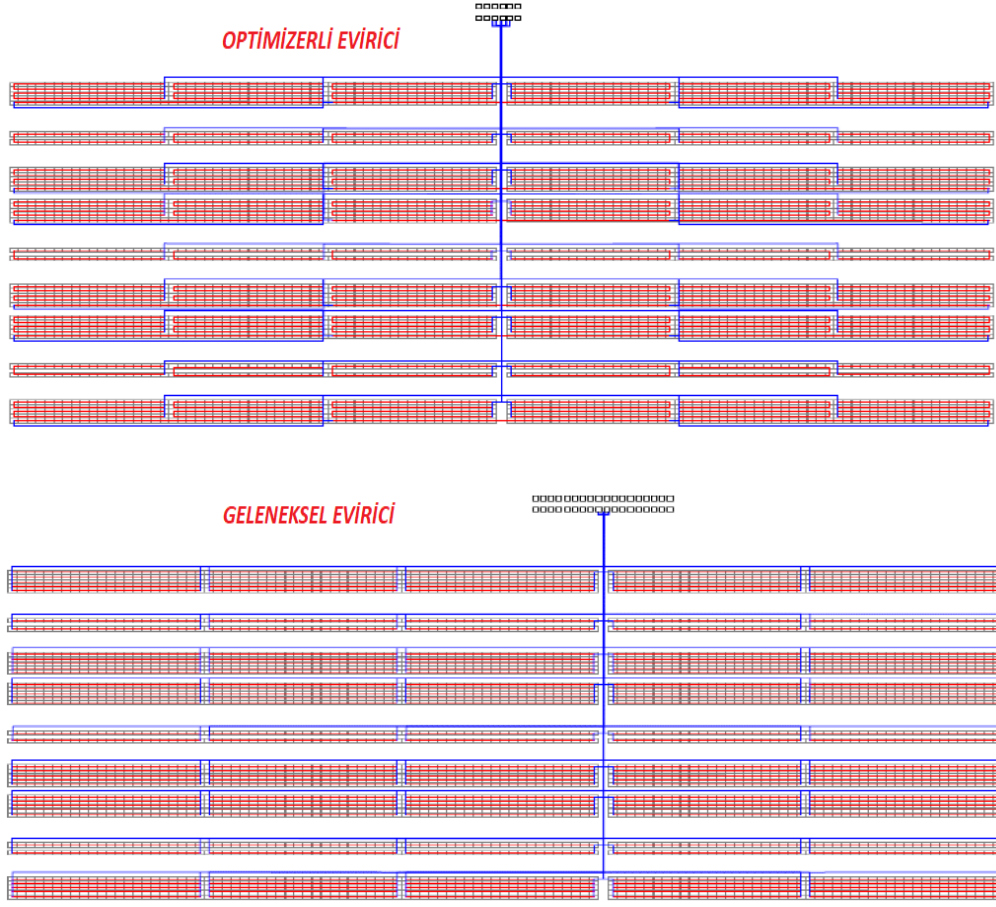
- Optimizerli evirici garantisi 12 yıldır, optimizer garantisi 25 yıldır. Geleneksel evirici garantisi ise standart 5 yıldır.
- Optimizerli evirici optimizerla tesisin ömrü boyunca sınırsız, limitsiz ve ücretsiz şekilde anlık izleme sağlanmaktadır.
- Panel seviyesinde izleme yapılabilmektedir. MPTT sayısına göre dizi izleme yapılmaktadır.
- Panel bazlı izleme yapılacağı için her modülden daha fazla güç elde edilir. Geleneksel evirici de dizi bazlı izleme yapılacağı için bir panelin çıkış akımında azalma olursa bütün dizi aynı akıma çekileceğinden performans kaybı olmaktadır.
- Kirlenme, gölgeleme, kuş pisliği gibi uyumsuzluk nedenlerinin oluşturduğu kayıplar % 0'dır. Eğer bir panel üzerine gelen gölge olursa iki panel bazlı

izleme yapılacağından ve optimizier kullanılacağından sadece o panel de verim kaybı olmaktadır. Ama geleneksel evirici de dizi bazlı izleme yapılacağından bir panel üzerine gelen gölge tüm diziyi etkileyeceği için performans kayıpları olmaktadır.

- Montaj elemanları, elektrikçiler ve itfaiyeciler için modül bazlı otomatik kapama özelliğinden dolayı yüksek koruma sağlar.
- Optimizierli eviricilerin en öne çıkan avantajları, 2 panel çözünürlüğünde izleme yapılabilmesi, MPPT'nin optimizierler de olması sebebi ile, değişken gölgelenmelerde verimin en yüksek olması, sistem hatalarında çıkış gerilimini 1 V ' a düşürmesi (yangın ve can güvenliği) sayılabilir.

Optimizierli evirici ve geleneksel evirici sistem bileşenlerinin karşılaştırması;

- Optimizierli çözüm, uzun diziler yapılmasına imkân sağlayarak kablo maliyetlerinde düşüşe neden olmaktadır. Aynı zamanda daha kolay tasarım ve kurulum yapılması imkânı sağlamaktadır.
- Bu proje de optimizierli eviricinin geleneksel eviriciye göre %47 oranında sistem maliyetinden tasarruf sağlayacağı öngörülmektedir.
- Şekil 3.6'da optimizierli ve geleneksel evirici için dizi yerleşimleri gösterilmektedir. Mavi çizgiler dizi uçlarından giden ek kabloları temsil etmektedir.



Şekil 3.6. Optimizerli ve geleneksel evirici dizi yerleşimleri

Optimizerli evirici tasarımıda toplam 546 dizi varken, geleneksel evirici tasarımıda 1062 dizi mevcuttur. Bu optimizerli evirici tasarım için DC kablolarıda daha az enerji kaybı ve daha az izolasyon kaynaklı hata demektir.

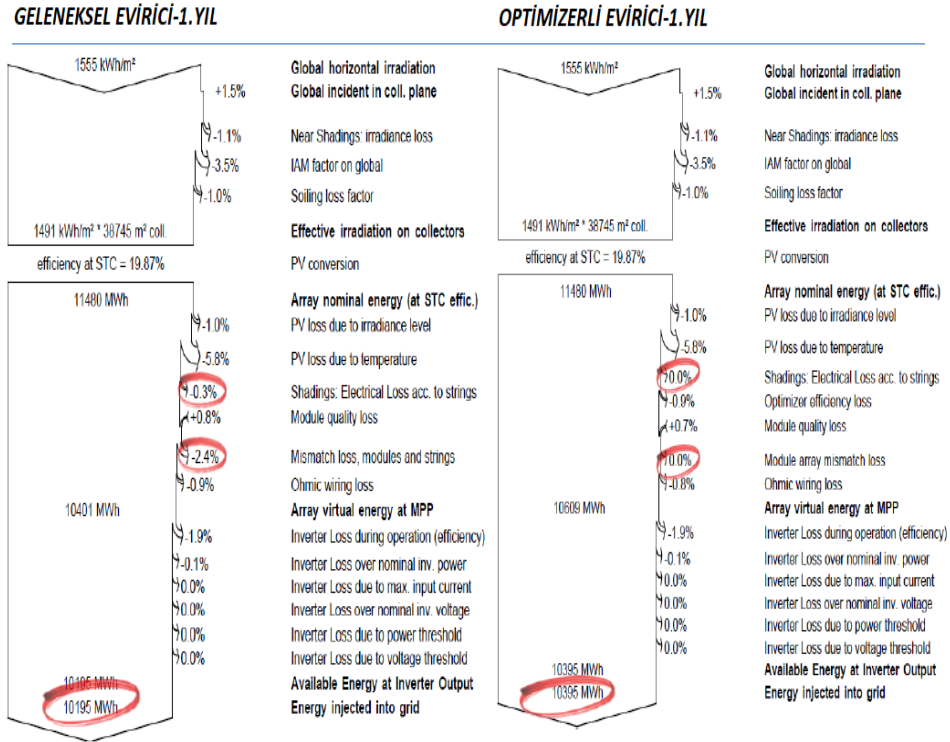
4. ANKARA POLATLIDA 7690 KWP GÜCÜNDE ÇATI ÜSTÜ PV SANTRAL FİZİBİLİTESİ

Bu bölümde tasarımı yapılan Fotovoltaik santralin üretim, risk ve ekonomik analizi yapılarak yatırım için elverişli olup olmadığı incelenecektir.

4.1. Üretim Analizi

Bölüm 3’ de yapılan sistem tasarıma uygun yapılan simülasyon sonucuna göre tahmin edilen aylık ve yıllık üretim değerleri kayıp enerjilerde dikkate alınarak her iki evirici tipi için de analiz edilmiştir.

PVsyst analizi sonucu ile elde edilen kayıp diyagramı Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 PVsyst analiz sonucuna göre kayıp diyagramı

Yapılan Pvsyst analiz sonucunda görüleceği üzere, kurulum yapılacak alana yıllık ışıma miktarı 1555 kWh/m²’dir. Fotovoltaik paneller çatıya montaj yapılacağı için çatı eğimine göre yerleştirildiğinden panel yüzeyine gelen ışıma miktarını %1,5 oranında azaltmıştır. Yüzeye gelen ışıının miktarının eşik değerinin altında kalması sebebiyle %1,1 ’lik kayıp oluşmuştur. Yapılan tasarıma göre çatı yüzeyine gelen gölgelemenin az olması sebebiyle %0,33 oranında kayıp oluşmuştur. Panele gelen ışıınının Güneş’ten

gelen açığa göre değişmesi sebebiyle aç yansıma faktörü %1 oranında kayba neden olmuştur. Tüm bu kayıplar toplanırsa panel yüzeyine gelen ışınlam 1491 kWh/m² olur. Toplam panel alanı 38.745 m² ve bu ışınlam ile üretilebilecek enerji 57768 MWh'dir.

Tasarlanan sistemde kullanılan panellerin standart test koşullarına göre verimi %19,87'dir. Bu panel verimliliğine göre panel dizisi nominal enerjisi 11480 MWh olarak belirlenmiştir.

Fotovoltaik panel özelliklerine bağlı olarak oluşan kayıplar ise dizi kayıpları olarak tanımlanmıştır. Panelin standart test koşulları altında çalışması referans alındığında, daha düşük seviyedeki ışımalardan doğan kayıp %1,0, sıcaklıktan doğan kayıplar ise %5.66'dir. Diziyi oluşturan her bir panelin dizideki yeri ve diziyeye bağlanmalarından kaynaklı olan elektriksel kayıplar geleneksel evirici de %0,3, optimizierli evirici de ise optimizier kullanımından dolayı %0 olarak kabul edilmiştir. Modül kalite kaybı, üreticinin, panelin nominal gücü için belirlediği tolerans aralığına bağlı olarak değişen bir değerdir. Sistemde kullanılan PV panel PVSYST simülasyon aracının veri tabanında tanımlı olmadığı için firmadan alınan panelin. pan uzantılı dosyası veri tabanına kaydedilmiştir. Bu panel tipinde panel kalite kaybı geleneksel evirici de %0,8, optimizierli evirici de ise %0,7 olarak belirtilmiştir. Özellikleri referans alınan panelin tolerans değeri üretici tarafından belirtilmediği için, belirtilen nominal gücün altında çalışmayacağı varsayılmış %-0...+2 tolerans tanımlanmıştır. Diziyi oluşturan panellerin seri ve paralel bağlanma durumlarına göre oluşan mismatch kaybı optimizierli evirici de optimizier kullanılmasından dolayı %0'dır. Geleneksel evirici de ise dizi izleme yapılacağından oluşan mismatch kayıpları %2,4'dür. Omik kayıplar ise optimizierli evirici de %0,8, geleneksel evirici de ise %0,9 olarak belirtilmiştir. Toplamda optimizierli evirici de, %9,8'lik dizi kayıpları sonucunda, MPP'de (maksimum güç noktası) dizi enerjisi olarak tanımlanan dizi çıkışındaki enerji miktarı 10.395 MWh olarak belirlenmiştir. Geleneksel evirici de ise %11,6'lık dizi kayıpları sonucunda, MPP'de (maksimum güç noktası) dizi enerjisi olarak tanımlanan dizi çıkışındaki enerji miktarı 10.195 MWh olarak belirlenmiştir. Optimizierli eviricinin, geleneksel eviriciye göre daha fazla üretmesinin sebebi kullanılan power optimizierdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4.2'de yapılan PVSYST simülasyon sonuçlarına göre aylık, küresel ışıma ve panel yüzeyindeki etkin ışıma, dizilerdeki enerji ve şebekeye aktarılan enerji miktarı ve ortalama sıcaklık değerleri ve bu değerlerin yıllık düzeyde karşılıkları verilmiştir.

Verilere göre en yüksek küresel ve etkin ışıma ile enerji üretim miktarı Temmuz ayında görülürken, en düşük değerler Ocak ayında görülmüştür. En yüksek ortalama sıcaklık Ağustos ayında, en düşük ortalama sıcaklık ise Ocak ayında görülmektedir.

ORS 3- 4A- 4B- 4C FABRIKA CATILARI_REV

Balances and main results

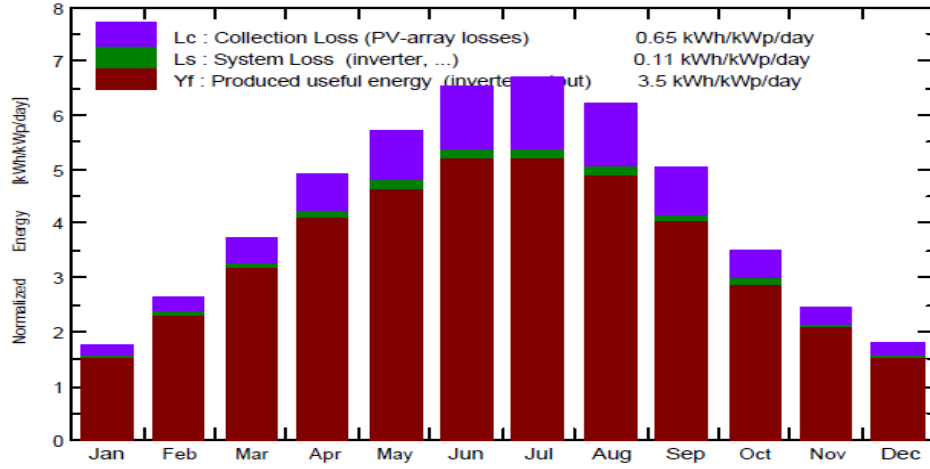
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	51.9	28.37	-0.51	54.0	49.7	370	361	0.882
February	72.0	37.60	1.24	74.3	69.0	509	495	0.881
March	113.6	55.74	6.17	115.7	108.4	777	754	0.862
April	146.1	67.35	10.75	147.4	138.8	968	940	0.842
May	177.0	77.58	16.03	177.3	167.3	1132	1098	0.818
June	195.5	84.64	20.30	195.5	184.7	1226	1189	0.804
July	207.5	69.85	24.02	207.2	196.1	1267	1228	0.783
August	190.5	73.20	24.07	192.0	181.4	1186	1150	0.792
September	148.1	43.03	18.17	150.9	141.9	949	921	0.806
October	104.2	41.90	12.85	107.9	100.5	702	682	0.836
November	70.7	30.54	6.11	73.9	68.0	491	478	0.856
December	52.8	26.12	1.20	55.6	50.9	378	368	0.874
Year	1530.1	635.93	11.76	1551.7	1456.6	9956	9665	0.823

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

Şekil 4.2. Aylık ve yıllık olarak simülasyondan elde edilmiş ışıma, enerji ve ortalama sıcaklık değerleri

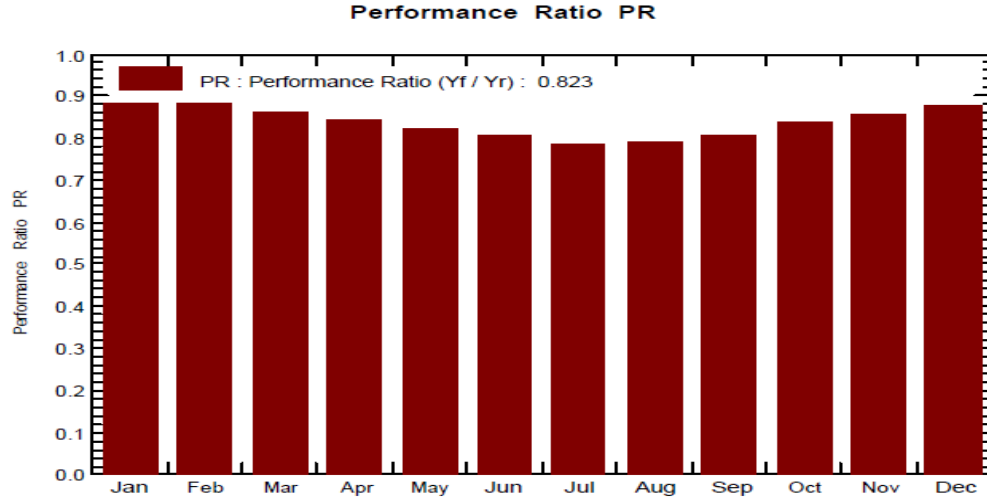
Simülasyon sonuçlarına göre ortalama günlük referans verimin aylık dağılımı PVSYST simülasyon sonuçlarına göre Şekil 4.3'te gösterilmiştir. En yüksek referans verim değeri Temmuz, en düşük referans verim değeri ise Ocak ayında izlenmiştir.

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 7568 kWp



Şekil 4.3. Aylara göre ortalama referans verim

Simülasyon sonuçlarından elde edilen sisteme ait ortalama günlük performans oranının aylara göre dağılımı ve yıllık ortalama değeri Şekil 4.4'te verilmiştir. Sisteme ait en yüksek günlük ortalama performans oranı %88,2 ile Ocak ayında, en düşük günlük ortalama performans oranı ise %78,3 ile Ağustos ayında elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre sistemin yıllık ortalama performans oranı %82,3'dür.



Şekil 4.4. Performans oranının aylara göre değişimi

4.2. Risk Analizi

Risk analizinin amacı, kurulum yapılacak santral sahasında oluşabilecek tehlikelerin belirlenip kayıt altına alınması gerekmektedir. Ve alınacak bu yöntemler ile

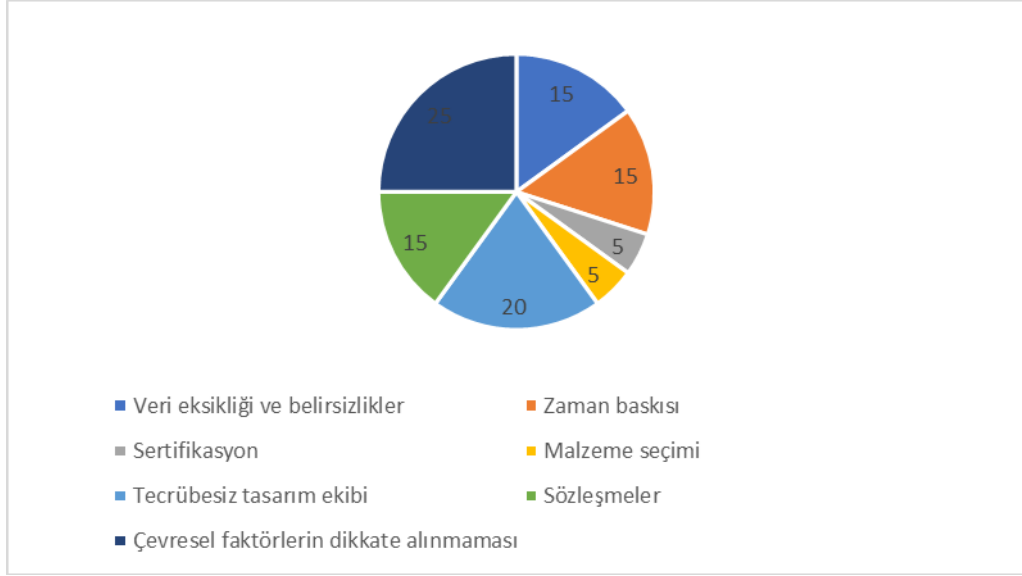
gerekli önlemlerin alınıp iş kazasız ve sağlıklı bir ortamın hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Oluşturulacak risk tablosuna göre risklerin önceden belirlenmesi ve İSG önlemleri alınarak oluşacak zararların en aza indirilmesi sağlanmaktadır. Risk tablosu oluşturulacağı zaman oluşturulan risklerin kimlerin kontrolünde ve sorumluluğunda olduğu belirtilmelidir.

Güneş enerji santralleri ilk yatırım maliyetleri yüksek olan ama uygun montaj yapıldığı takdirde yaklaşık 25 yıla kadar enerji üretebilen tesislerdir. Bu yüzden ilk tasarım ve montaj aşamasında risk analizleri yapılarak öngörülen riskleri en aza indirilmesi gerekmektedir [26].

Güneş enerji santralleri için risk analizini üç ayrı aşamada incelemek gerekmektedir.

- Tasarım Aşaması
- Montaj Aşaması
- İşletme Aşaması

Bu üç ayrı aşamada da riskler çeşitlilik gösterse de tasarım ve montaj çalışmaları sırasında yapılacak herhangi bir yanlışlık veya gözden kaçan bir husus olduğu takdirde işletme sırasında ortaya çıkarak büyük hasarlara yol açmaktadır. [15] Şekil 4.5’ de tasarım aşamasındaki risklerin dağılımları gösterilmiştir. Bu dağılıma göre en büyük oran çevresel faktörlerin dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır. Çevresel faktörler dediğimiz şeyler ise kar yükü, rüzgâr yükü, statik yükler ve sıcaklık yükler olarak sıralanabilir. Bundan sonra etki eden büyük unsurlardan bir tanesi ise tecrübesiz tasarım ekibinin olması bu yüzden tasarım yapacak firmanın yetkinliği ve kullanacağı malzemeler büyük önem arz etmektedir.



Şekil 4.5. *Tasarım aşamasındaki risklerin dağılımı [15]*

İSG' ye uygun olarak hazırlanan risk tablosu çok kapsamlıdır ve öngörülebilir bütün tehlikeler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu risk tablosunda öngörülen risklere önceden sayısal değerler verilerek risk değeri belirlenir. Oluşturulacak risk tablosu 3 aşamada incelenmesi daha doğru olur. Risk tabloları hazırlanırken öncelikle riskin ne olduğu, bu riskin oluşmasının kaynağının ne olduğu ve riskten doğan sonucun ne olduğu belirlenmelidir [27]. Bunlardan sonra şiddet ve olasılıkları için 1'den 5'e kadar puanlama yapılarak ikisinin çarpımı ise bize riskin değerini göstermektedir. Bu risk değerine göre riskin önem düzeyi belirlenmektedir. Belirlenen risk düzeylerine göre alınacak olan aksiyonlar belirlenir ve yazılır. Alınacak aksiyonların sorumlularının kim olduğu belirtilmelidir. Ve alınacak önleme göre tekrar olasılık ve şiddetlerine göre puanlanır ve sonuçta çıkan rakam bizim için kabul edilebilir ve önlem alınması gerektiğini gösterebilir. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2' de ORS için kurulacak çatı üstü Fotovoltaik santralde kullanmak üzere risk tablosu oluşturulmuştur.

Hazırlanmış olan risk değerlendirme tablosu güneş enerji santralleri kurulumu yapılırken kullanılabilir. Bu tabloda maddeler halinde yazılan risklere karşı önlem derecesine göre aksiyonlar alınır.

Tablo 4.1. ORS risk tablosu

ORS ÇATI ÜSTÜ GÜNEŞ ENERJİSİ RİSK TABLOSU

TEHLİKE TANIMI			RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ					RİSK DÜZEYİ	KONTROL SONRASI DÜZELTİCİ ÖNLEYİCİ FAALİYETLER					
NO	KONU BAŞLIĞI	Faaliyet Tanımı (Tehlike Uygunluğuzluk)	Tehlike Tanımı veya Kaynağı	Zarar/Risk (Olası Etki)	Şiddet	Olasılık	Risk		DÜZELTİCİ ÖNLEYİCİ FAALİYETLER (D.Ö.F.) & ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER	SORUMLU KİŞİ	Şiddet	Olasılık	Risk	Önem Derecesi
1	KURULUM	Çatının Kurulum İçin Uygun Hale Getirilmemesi	Kurulum Yapılamaması	Uygunsuz Kurulum aşamasından Dolayı İş Kazası Yaşanması	4	3	12	Önemli	Çatının Kurulum İçin Uygun Hale Getirilmesi ,Gerekli Olan Merdivenleri Yapılması	Yardımcı Tesisler Mühendisi	3	2	6	Orta
2	KURULUM	Çatı Drenajının Uygun Olmaması	Aşırı Yağış Sel Oluşumu	Santral Alanının Zarar Görmesi ,Çalışanların Yaralanması,Ölmesi	5	3	15	Önemli	Çatı Drenajının Kontrol Edilmesi	Yardımcı Tesisler Mühendisi	5	1	5	Orta
3	KURULUM	Panellerin Elle Taşınması	Panellerin Düşmesi	Çalışanların Hafif Yaralanması	5	3	15	Önemli	Panel Taşınırken Elle Taşıma Yönetmeliğine Göre Uygulama Yapılması	EPC Mühendisi	2	1	2	Kabul Edilebilir
4	KURULUM	Eviricilerin Elle Taşınması	Eviricilerin Düşmesi	Çalışanların Hafif Yaralanması	3	3	9	Orta	Eviricilerin Elle Taşınması Yerine Vinç Kullanılması	EPC Mühendisi	3	1	3	Kabul Edilebilir
5	KURULUM	Konstrüksiyonların Uygun Yerleştirilmemesi	Panellerin Düşmesi	Ölüm, yaralanma	4	4	16	Çok Önemli	Yapılan Analiz Sonuçlarının İncelenmesi	Görevli Elk.Eln. Mühendisi	4	2	8	Orta
6	KURULUM	Panel Ve Eviricilerin Bağlantı Hatası	Eviricilerin Patlaması	Santral Alanının Zarar Görmesi ,Çalışanların Yaralanması,Ölmesi	5	3	15	Önemli	Panel Ve Eviricilerin Bağlantısını Gösteren Şemaya Uyulması Gerekmemekte	EPC Mühendisi	5	2	10	Önemli
7	KURULUM	Panelleri Arası Kablo Bağlantı Hatası	Panellerin Zarar Görmesi	Santral Alanının Zarar Görmesi ,Çalışanların Yaralanması,Ölmesi	5	4	20	Çok Önemli	Paneller Arası Kablo Bağlantısını Gösteren Şemaya Uyulması Gerekmemekte	EPC Mühendisi	5	2	10	Önemli
8	KURULUM	Panellerin Montaj Hatası	Panellerin Düşmesi	Panellerde Mikro Kırıkların Oluşması Ve Panel Verimlerinin Düşmesi	4	4	16	Çok Önemli	Panellerin Montajı Sırasında Talimatlara Uyulması	EPC Mühendisi	4	1	4	Kabul Edilebilir
9	KURULUM	Kişisel Koruyucu Donanım Ekipmanlarının Kullanılmaması	Parça Sıçrama	Konstrüksiyon Ve Panel Montajı Sırasında Yaralanma	4	3	12	Önemli	Kişisel Koruyucu Donanımlarının Kullanılması	EPC Mühendisi	3	1	3	Kabul Edilebilir
10	KURULUM	Yüksekte Çalışma Eğitimlerinin Verilmemesi	Yüksekten Düşme	Konstrüksiyon Ve Panel Montajı Sırasında Yaralanma Ve Ölüm	5	3	15	Önemli	Yüksekte Çalışma Eğitimi Verilip Ve Uygulama İçin Donanımların Sağlanması	EPC Mühendisi	3	1	3	Kabul Edilebilir
11	KURULUM	Panellerin Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	5	4	20	Çok Önemli	Panellerin Proje Planına Göre Topraklanması	EPC Mühendisi Ve Görevli Elk.Eln Müh.	5	2	10	Önemli
12	KURULUM	Panellerin Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	5	4	20	Çok Önemli	Eviricilerin Proje Planına Göre Topraklanması	EPC Mühendisi Ve Görevli Elk.Eln Müh.	5	2	10	Önemli

Tablo 4.1. (Devam) ORS risk tablosu

13	KURULUM	Kablo Tavalarının Topraklanması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	5	4	20	Çok Önemli	Tavaların Proje Planına Göre Topraklanması	EPC Mühendisi Ve Görevli Elk.Eln Müh.	5	2	10	Önemli
14	KURULUM	Trafo Köşkünün Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	5	4	20	Çok Önemli	Trafo Köşkünün Proje Planına Göre Topraklanması	EPC Mühendisi Ve Görevli Elk.Eln Müh.	5	2	10	Önemli
15	KURULUM	Santral Alanının Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	5	4	20	Çok Önemli	Santral Alanının Proje Planına Göre Topraklanması	EPC Mühendisi Ve Görevli Elk.Eln Müh.	5	2	10	Önemli
16	KURULUM	Çatıda Sıcakta Çalışmadan Dolayı Dikkatsizlik Artışı	Sıcaklık	Çalışanlarının Dikkat Kaybının Artması Ve Yüksekten Düşme	5	3	15	Önemli	Sık Molalar Verilmesi	EPC Mühendisi	3	1	3	Kabul Edilebilir
17	KURULUM	Çatıda Soğukta Çalışmadan Dolayı Soğuk Yanması Oluşması	Sıcaklık	Çalışanların Yaralanması Ve Donması	4	4	16	Çok Önemli	Kişisel Koruyucu Donanımlarının Kullanılması Ve Soğuga Uygun Kıyafet Seçimi	EPC Mühendisi	3	2	6	Orta
18	KURULUM	Yetkisiz Kişilerin Santral Alanında Olması	Yetkisiz Kişiler	Yetkisiz Kişilerin Ölmesi ,Yaralanması	5	5	25	Çok Önemli	Yetkisiz Kişilerin Santral Alanına Alınmaması	İSG Kurulu	2	1	2	Kabul Edilebilir
19	KURULUM	Panellerden Sonra Ayırıcı Kullanılmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Evricilerin Üzerinde Yüksek Akım Oluşması	4	3	12	Önemli	Panellerden Sonra Ayırıcı Kullanılması	EPC Mühendisi	3	2	6	Orta
20	KURULUM	İşaretlerin olmaması		Çalışanların riskleri görmemesi	4	4	16	Çok Önemli	Çalışma alanlarındaki risklere göre uyarı ve ikaz işaret levhaları asımlı ve talimatlarla desteklenmelidir.	EPC Mühendisi	4	1	4	Kabul Edilebilir
21	TESTLER VE DEVREYE ALMA	Dize Akım ve VoltajınınDC Kablo İçin Uygun Olmaması	Dize Kontrolü	DC Kabloların Zarar Görerek Hasara Yol Açması	4	2	8	Orta	Kablo Seçimi Yapılırken Dikkatli Olunmalı	Görevli Elk.Eln. Mühendisi	4	1	4	Kabul Edilebilir
22	TESTLER VE DEVREYE ALMA	Dize Akım ve VoltajınınDC Kablo İçin Uygun Olmaması	DC Toplama Panosu Kontrolü	DC Kabloların Zarar Görerek Hasara Yol Açması	5	2	10	Önemli	Toplama Panosu Kontrolü Yapılmalı	Görevli Elk.Eln. Mühendisi	4	2	8	Orta
23	Santralin Çalışması Ve Bakım	Topraklama veya Kaçak Akım Sisteminin Sorun Çıkarması	Panellerde Kaçak Akım	Panel Alanından Geçen Görevliye Ektetik Çarpması	5	5	25	Çok Önemli	Yönetmeliğe Uygun kaçak Akım Rölelerinin Kullanılması Sağlanmalı ve kontrolleri yapılmalı	Görevli Elk.Eln. Mühendisi	2	1	2	Kabul Edilebilir
24	Santralin Çalışması Ve Bakım	Sorun Olması Halinde Müdahale Edilmemesi	Acil Eylem Planı	Santralde ve Bulunduğu Yerde Büyük Zarar Oluşumu	5	5	25	Çok Önemli	Acil Eylem Planları Hazırlanmalı	İSG Kurulu	2	1	2	Kabul Edilebilir

4.3. Ekonomik Analiz

Bu bölüm de sistem maliyetlerini ve kullanılan yöntemleri belirterek her iki uygulama için de ekonomik analiz yapılacaktır.

4.3.1. Sistem maliyeti

Fotovoltaik sistem maliyeti, sistem kurulum maliyetleri ve işletmeye alındıktan sonra ki bakım ve duruş giderlerini kapsamaktadır. Sistem kurulum maliyeti, sistem kurulumu yapılmadan önce çıkan maliyetlerdir. Bakım ve duruş maliyetleri ise sistem ömrü boyunca ödenecek maliyetlerdir. Ekonomik analiz yapılırken iki senaryo dikkate alınarak yapılacaktır. Üretim analizi yapılırken iki adet evirici üzerinde durulmuştur. Bunlardan bir tanesi Power Optimizerli evirici, ikincisi de geleneksel evirici.

Tablo 4.2. Uygulama-A sistem maliyeti özeti

UYGULAMA-A					
Poz. No.	Açıklama	Marka	Miktar	Birim	Fiyat(USD)
SOLAR EKİPMANLAR					
1	Solar Panel 395W	S.PEKINTAS	7.690.650	Wp	2.157.996
2	String İnverter SE 33.3 kW		182	Adet	266.448
3	OPTIMIZER		9.735	Adet	380.054
4	Konnektör	Inverter Panel Uyumlu	1.129	Set	2.755
5	Konstruksiyon(40x40 mm Tam Boy Alüminyum Taşıyıcı Sistemi)		7.690.650	Wp	272.095
KABLOLAR					
1	1x6 mm ² H1Z2Z2-K Solar Kablo	HIS/ NEXANS	90.440	Metre	55.168
2	1x10 mm ² H1Z2Z2-K Solar Kablo	HIS/NEXANS	39.900	Metre	48.678
3	5x35 mm ² NYY Kablo	HASÇELİK/ HES	1.800	Metre	43.920
4	1x240 mm ² NYY Kablo	OZNUR/HASÇELİK/ HES	15.000	Metre	457.500
5	1x120/16 mm ² N2XS Y Kablo	OZNUR/HASÇELİK/ HES	1.254	Metre	22.948
OG KAPSAMI					
1	31,5/0,4KV 3150 KVA DYN11 Uk : %6 HERMETİK TİP TRAFO (TEDAS MYD E	ASTOR,MAKSAN,BEST	3	Adet	105.000
2	36kV 630A 16kA HAVA İZOLELİ YG HÜCRESÜ	SCHNEIDER INSIDE	3	Adet	45.000
TOPLAM					3.857.563
			\$/kWp		501

Tablo 4.3. Uygulama-B sistem maliyeti özeti

UYGULAMA-B					
Poz. No.	Açıklama	Marka	Miktar	Birim	Fiyat(USD)
SOLAR EKİPMANLAR					
1	Solar Panel 395W	S.PEKINTAS	7.690.650	Wp	2.157.996
2	Geleneksel String İnverter		216	Adet	264.191
3	OPTIMIZER		0	Adet	0
4	Konnektör	Inverter Panel Uyumlu	2.160	Set	5.270
5	Konstruksiyon(40x40 mm Tam Boy Alüminyum Taşıyıcı Sistemi)		7.690.650	Wp	272.095
KABLolar					
1	1x6 mm ² H1Z2Z2-K Solar Kablo	HIS/NEXANS	180.880	Metre	110.137
2	1x10 mm ² H1Z2Z2-K Solar Kablo	HIS/NEXANS	39.900	Metre	48.678
3	5x35 mm ² NYY Kablo	HASÇELİK/ HES	1.800	Metre	43.920
4	1x240 mm ² NYY Kablo	OZNUR/HASÇE LİK/ HES	15.000	Metre	457.500
5	1x120/16 mm ² N2XS Y Kablo	OZNUR/HASÇE LİK/ HES	1.254	Metre	22.948
OG KAPSAMI					
1	31,5/0,4KV 3150 KVA DYN11 Uk : %6 HERMETİK TİP TRAFO (TEDAS MYD E	ASTOR,MAKSA N,BEST	3	Adet	105.000
2	36kV 630A 16kA HAVA İZOLELİ YG HÜCRESÜ	SCHNEIDER INSIDE	3	Adet	45.000
TOPLAM					3.532.936
			\$ /kWp		501

İlk yatırım maliyeti santralin üretime hazır hale gelebilmesi için Fotovoltaik panel, evirici, kablo, pano, mekanik konstrüksiyon, EPC ve resmi daireler için yapılan başvurularının maliyetlerinin tümüdür. Fotovoltaik sistemler de sistem maliyetlerinin yarısını fotovoltaik paneller oluşturmaktadır. Çalışmada yapılan sistem tasarımında yerli panel kullanılmış olup birim fiyatı 0,28 USD/kWp' dir. Tasarımı yapılan bu sistem için panel maliyeti 2.157.996 USD' dir. Sistem maliyetinde, büyüklük sıralamasında evirici ikinci sıra da yer almaktadır. Tablo 4.2'de görüleceği üzere Uygulama-A'da optimizerli evirici ve power optimizer birim fiyatı ise 105 USD/kW'dır. Uygulama-A sistemi için evirici maliyeti ise 646.502 USD' dir. Tablo 4.3 Uygulama-B'de geleneksel evirici birim fiyatı ise 43 USD/kW'dır. Uygulama-B sistemi için evirici maliyeti ise 264.191 USD' dir. İlk yatırım maliyetinin Fotovoltaik paneller ve evirici dışında diğer önemli alt bileşenleri, kablolama maliyetleridir. Kablolama maliyeti Uygulama-B'de daha

yüksek olmaktadır. Bunun nedeni ise Bölüm 3’de teknik detayları bahsedilen power optimizer kullanılmayan konvansiyonel eviricilerde daha fazla diziler oluşturulacağı için panel kablolama maliyetlerinin artacağıdır. Bütün bunlar göz önünde bulundurarak tasarımı yapılan sistem için yaklaşık maliyet Uygulama-A için 3.857.563 , Uygulama-B için ise 3.532.936 USD olarak belirtilmiştir.

Ekonomik analiz yapılırken sistem ömrünün 25 yıl olarak alınmıştır. Fakat Fotovoltaik panellerin yıllık üretimleri verimlilik kaybına bağlı olarak her yıl üretim miktarı azalır. Modüllerin performansı, iklim şartları, nem, kirlilik gibi etkenlerden dolayı olumsuz yönde etkilenirler. Ticari panel üreticileri yıllık verimlilik kayıplarının 0,5-1,0 arasında olduğunu garanti etmektedirler [28]. Bu çalışma da panel verimlilik kaybı 0,8 olarak alınmıştır.

Yapılan çalışmada gönüllü karbon piyasasına katılması halinde gelir olarak karbon geliri de nakit akışa gelir olarak eklenecektir. Güneş enerjisi projeleri gönüllü karbon ticareti kapsamında işlem gören sera gazı emisyonunu azaltıcı faaliyetler arasında yer almaktadır. Ülkemiz de şu an için zorunlu karbon piyasası bulunmamakta ama kişileri ve şirketleri gönüllü olarak azalımı teşvik etmek amacıyla gönüllü karbon piyasası bulunmaktadır [28]. Karbon gelirinin hesaplanması için Fotovoltaik santralin karbon emisyon azalım faktörünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu azalım faktörü Eylül 2020 tarihinde yayımlanan rapor da 0,6198 tCO₂e/MWh olarak tespit edilmiştir [29]. Emisyon azalım miktarı emisyon azalım faktörünün çarpımına eşittir. Son yıllara ait Türkiye’de karbon fiyatlarına ait bilgi olmadığından 2017 yılında yapılan çalışmaya göre karbon fiyatının 2,4 Dolar/tCO₂e olduğu belirtilmiştir [28]. Bu kapsam da ekonomik analizi yapılan santralde ilk üretim yılı sonunda karbon geliri 14.376,88 USD (9.665MWh×0,6198 tCO₂e/MWh×2,4 Dolar/tCO₂e) olacağı hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma da yıllık bakım gideri 65.000 USD olarak alınmış ve her yıl için de enflasyon oranı kadar arttırılmıştır.

4.3.2. Net bugünkü değer yöntemi

Bir zaman çizelgesi boyunca gelen ve giden nakit akımların toplamına NBD denir. Eğer $NBD > 0$ ise, yatırım yapılabilmesi ve kar getireceği, eğer $NBD < 0$ ise yatırımın kar getirmeyeceği ve zarara yol açabileceği anlamına gelmektedir. $NBD = 0$ ise bu sefer de yatırımcı, yatırımın diğer üstünlüklerine ya da zorunluluklarına göre yatırımı

yapacağına ve yapmayacağına karar verir. Denklem 4.1’de NBD’ nin hesaplama formülü görünmektedir [30].

$$NBD = \sum_{y=0}^y EB_y \times \frac{1}{(1+i)^y} - PP_{cost} \quad (4.1)$$

EB_y = Yıldaki Net Ekonomik Faydalar

PP_{cost} = Santral Maliyeti (USD)

i = İndirgenme oranı

y = Yıl

İndirgenme oranının hesabı, NBD’ yi belirlemek için önemlidir. İndirgenme oranı, projeye yatırılan sermayenin zaman içindeki gerçek değerini gösteren orandır. Bir bakıma indirgenme oranı, paranın zaman içindeki gerçek değerini yansıtmaktadır. Denklem 4.2’yle hesaplanabilir.

$$i = \frac{1+k}{1+n} - 1 \quad (4.2)$$

k = Nominal İndirgenme oranı (cari faiz oranları)

n = Beklenen enflasyon oranı

Yapılan proje öz sermaye ile yapılacağından herhangi bir kredi kullanılmayacaktır. Bu yüzden indirgenme oranı hesabı yapılırken öz sermayeye göre hesaplamalar yapılmıştır. Dolar kuruna göre yıllık bono faizi %6, TEFE artış oranı %2 kabul edilmiştir.

Santral maliyeti, sistemde bulunan panellerin, eviricilerin toplam maliyetine eşittir. Denklem 4.3’de görünmektedir. Fotovoltaik panel maliyeti ise kWp cinsinden panellerin toplam gücünün birim fiyat üzerinden çarpımına eşittir. Denklem 4.4’te görünmektedir. Evirici maliyeti ise eviricilerin toplam kapasitesinin birim fiyat üzerinden çarpımına eşittir. Denklem 4.5’de görünmektedir [31].

$$PP_{cost} = PV_{cost} + IS_{cost} \quad (4.3)$$

PV_{cost} = Panellerin Maliyeti

IS_{cost} = Evirici Maliyeti

$$PV_{cost} = cp \times C_{pv} \quad (4.4)$$

cp = Panel Kapasitesi (kWp)

C_{pv} = Panel Birim Fiyatı (0,295USD kwp)

$$IScost = cI \times CIU \quad (4.5)$$

cI =Evirici Kapasitesi (kW)

CIU =Evirici Birim Fiyatı (200 USD kW-1)

Evirici, Fotovoltaik panel gücüne göre 1,2 oranında seçilmiştir. Üretilen enerji tüketimde harcandığı varsayılarak hesaplar yapılmıştır. Denklem 4.6, bir yıldaki ekonomik faydaların hesaplamasını gösterir [31].

$$CS = EG \times EP \quad (4.6)$$

CS =Tasarruf edilen ekonomik maliyet (USD)

EG =Yılda üretilen toplam enerji (MWh)

EP =Elektrik birim fiyatı (USD)

Denklem 5 bize hiçbir masraf yokken yılda üretilecek net enerji maliyetini göstermektedir.

4.3.3. Geri ödeme süresi yöntemi

İlk yatırım maliyetinin gelecek yıllar da nakit akımlar ile birlikte ne kadarlık bir süre ile geri alınacağını gösterir. Yatırımın geri ödeme süresi hesaplanırken iki yöntem vardır. Bunlardan bir tanesi paranın zaman değerini dikkate almaz buna basit geri ödeme süresi denir. Diğer de indirgenmiş geri ödeme süresidir, bu yöntem de ise paranın zaman karşısındaki değeri dikkate alınır. Geri ödeme süresi yöntemi ile sistemin yatırıma elverişliliği hesaplanırken en kısa sürede geri ödemesi göz önünde bulundurulur. Fakat dikkat edilmesi gereken bir husus vardır. Sonraki yıllarda nakit akışlarının negatife dönmemesine dikkat edilmelidir. Geri ödeme süresi yöntemi yapıldıktan sonraki diğer yıllardaki nakit akışlarının da durumuna dikkat edilmelidir [32].

4.3.4. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti

Farklı elektrik üretim kaynaklarını karşılaştırmak için kullanılan bir ölçüdür. Üretilen enerjinin maliyetini hesaplamak için kullanılabilir [31].

Seviyelendirilmiş enerji maliyeti, elde edilen gelirler ihmal edilerek maliyet bazı bir yöntemle hesaplanmaktadır. Bu yöntem, farklı enerji kaynağına, kapasite faktörüne,

yatırım maliyetine sahip üretim teknolojilerinin birbirleri ile karşılaştırılması sağlanmakta ve ayrıca elektrik fiyatları hakkında da bilgi vermektedir [33].

Basit seviyelendirilmiş enerji maliyeti hesabı Denklem 4.7’de görünmektedir [33]. Denkleme göre yapılan hesaplarda tasarımı yapılan bu sistem için enerji maliyeti yaklaşık 1,10 cent/kWh olmaktadır.

$$LCOE = \frac{(SM \times GKO) + SBM}{(8760 \times KF) + (YM + IK) + DBM} \quad (4.7)$$

SM=Sermaye Maliyeti (USD/kW)

GKO= $\{i(1+i)^n\} / \{(1+i)^n - 1\}$ i= Faiz n=Vade

SBM=Sabit Bakım Maliyeti (USD/kW)

KF=Kapasite Faktörü (0-1)

YM=Yakıt Maliyeti (USD/kW)

IK=Isı Katsayısı (BTU/kWh)

DBM=Değişken Bakım Maliyeti (USD/kW)

Fotovoltaik sistem tasarımının Tablo 4.4’de nakit akış tablosunda görüldüğü üzere, tesisin işletmeye gireceği yıldan itibaren nakit girşilerinin çıkışlardan fazla olduğu görülmüştür. Simülasyon sonuçlarından elde edilecek üretim miktarına göre yapılan analiz sonucunda Uygulama-A sisteminin NBD’si 1.231.544 USD’dir. LCOE’si 27,83 USD/MWh, ilk yatırım maliyetinin basit geri ödeme süresi yöntemine göre 2,9 yıl, indirgenmiş geri ödeme süresi yöntemine göre ise 6 yıl 4 ay olarak hesaplanmıştır. İç verimlik oranı ise %14 olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.6’de nakit akış tablosunda görüldüğü üzere, tesisin işletmeye gireceği yıldan itibaren nakit girşilerinin çıkışlardan fazla olduğu görülmüştür. Simülasyon sonuçlarından elde edilecek üretim miktarına göre yapılan analiz sonucunda Uygulama-A sisteminin NBD’si 1.231.464 USD’dir. LCOE’si 19,64 USD/MWh, ilk yatırım maliyetinin basit geri ödeme süresi yöntemine göre 2,6 yıl, indirgenmiş geri ödeme süresi yöntemine göre ise 6 yıl olarak hesaplanmıştır. İç verimlik oranı ise %15,2 olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.5. Uygulama-A nakit akışı 11-20 yıl

[illegible]

70

[illegible]

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında Ankara ilinin Polatlı ilçesinde bulunan bir sanayi tesisine ait bazı çatılarına kurulması öngörülen 7690 kWp ilk Fotovoltaik sistemin PVsyst programı aracılığıyla simülasyon ortamında sistem tasarımı yapılmış ve bu tasarım sonuçlarına göre sistemin, üretim analizi ve ekonomik analizi yapılmıştır. Sanayi tesisinin coğrafi konumu işaretlenerek program üzerindeki meteorolojik veriler ile YEGEM' den alınan veriler ile karşılaştırılmış aralarında çok fark olmadığı görülmüştür.

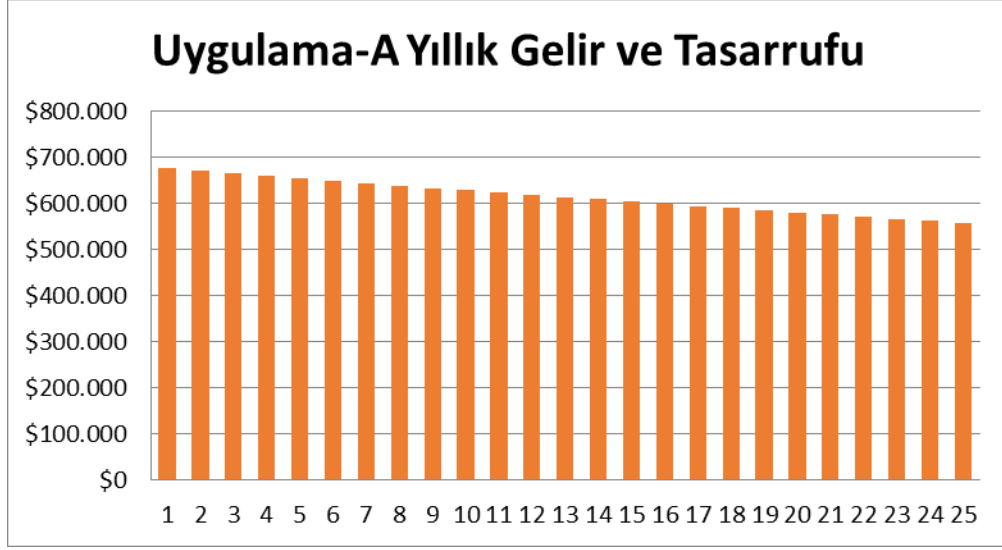
Tasarımı yapılan konuma en düşük etkin ışıma değeri 51,9 kWh/m² ile Ocak ayında, en yüksek etkin ışıma değeri ise 207,5 kWh/m² ile Temmuz ayında ulaşıldığı görülmüştür.

Çıkan kayıplar sonunda sistemden üretilecek yıllık toplam enerji miktarı Uygulama-A için 10.395 MWh, Uygulama-B için ise 10.195 olacağı öngörülmüştür. Üretilecek en düşük enerji miktarı Ocak ayında 361 MWh, en yüksek ise Temmuz ayında 1228 MWh olacağı görülmüştür.

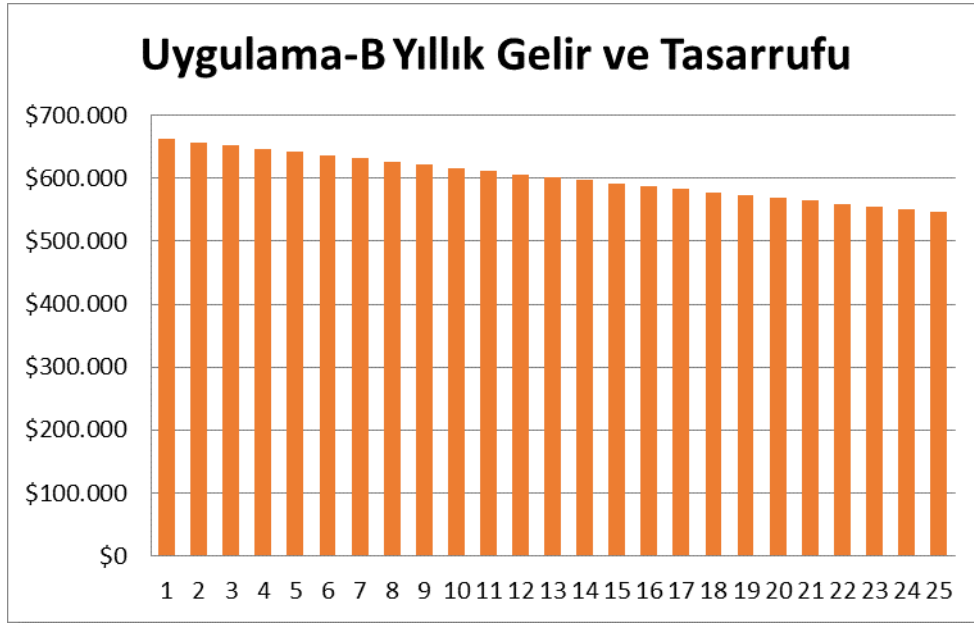
Sisteme ait en yüksek günlük ortalama performans oranı %88,2 ile Ocak ayında, en düşük ortalama performans oranı ise %78,3 ile Temmuz ayında görülmüştür. Yıllık ortalama performans oranının ise %82,3 olduğu görüldüğünden yapılan tasarımın başarılı olacağına kanaat getirilmiştir.

Sanayi tesisinin 2020 yılında yıllık enerji tüketiminin 78.289 MWh, ko jenerasyondan yıllık üretilen enerji miktarının 63.920 MWh, bu enerjinin ise üretilirken harcadığı doğalgaz miktarının yaklaşık 16.000 ton civarında olduğu söylenmişti. Kurulması planlanan Fotovoltaik sistemin yıllık 10.395 MWh olduğunu simülasyon sonuçlarından elde etmiştik. Yani bu durumda tüketim kadar ürettiğimizi düşünürsek daha fazla doğalgaz tüketimimiz ve buna bağlı olarak doğa için karbon salınımız olacak. Bu yüzden Fotovoltaik sistem kurulumu yapılabilirliğinin olduğunu göstermektedir. Gönüllü karbon piyasasına katılınması durumunda Bölüm 4' de hesapladığımız ilk yıl için 14.376,88 USD gelir elde edilmiş olur.

Şekil 5.1'de, Uygulama-A için ilk yıl için simülasyon sonuçlarına göre 10.395 MWh olarak belirtilmişti. Bu doğrultu da yıllık gelir tablosu verilmiştir. Burada ORS için MWh' 65 USD olarak alınmıştır. Bölüm 4'de Uygulama-A için ilk yıl 10.395 MWh enerji üretildiği takdirde 675.675 USD tasarruf elde edilmiş olur. Şekil 5.2 'de ise Senaryo-B için ilk yıl 10.195 MWh enerji üretildiği takdirde 662.675 USD enerji tasarrufu veya geliri elde edilmiş olur.

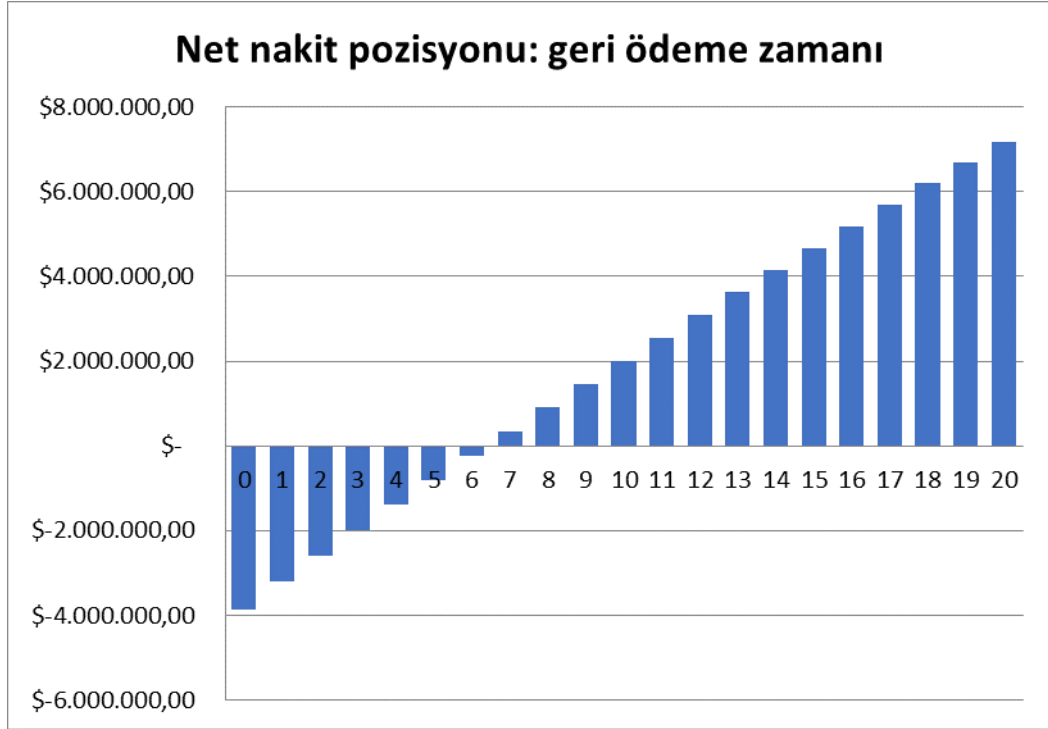


Şekil 5.1. *Uygulama-A için yıllık gelir ve tasarrufu*

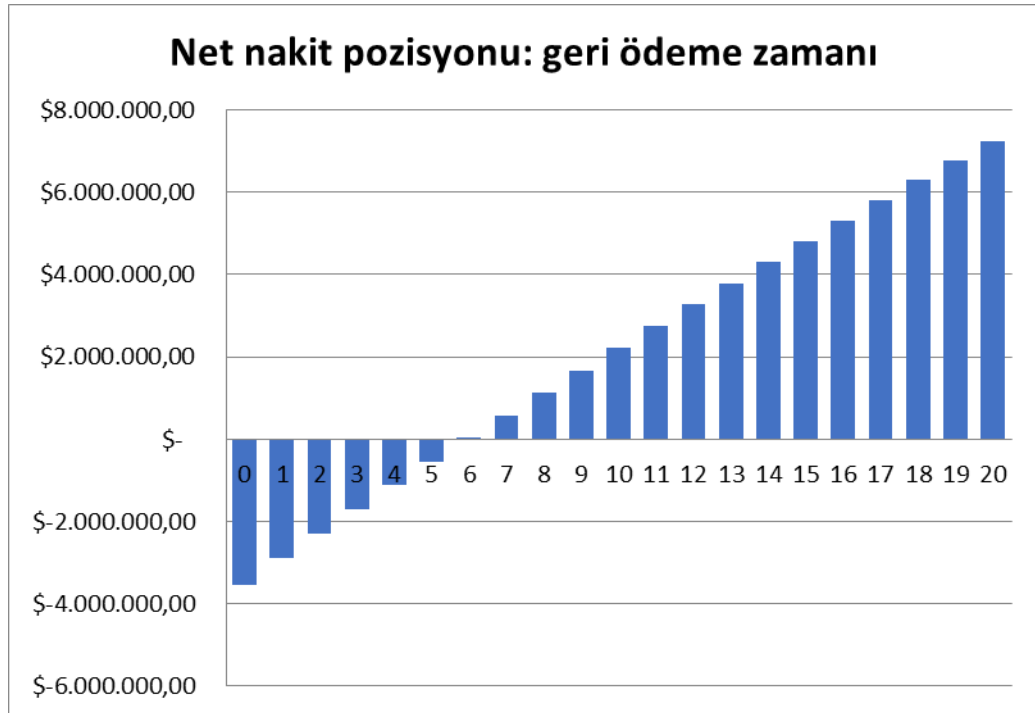


Şekil 5.2. *Uygulama-B için yıllık gelir ve tasarruf*

Şekil 5.3 ve 5.4’de de geri ödeme zaman grafiği gösterilmektedir. Bu grafiklere göre Uygulama-A için 6,4 yıl, Uygulama-B için ise 6,0 yıl olarak görülmektedir.



Şekil 5.3. *Uygulama-A için geri ödeme zamanı*



Şekil 5.4. *Uygulama-B için geri ödeme zamanı*

Uygulama-A’da kullanılan optimizerli evirici, Uygulama-B’de kullanılan geleneksel eviriciye göre daha pahalı olmasına rağmen, daha az kablolama maliyeti ve yıllık 200 MWh diğer eviriciye kıyasla fazla üretim yapacağı için geri ödeme süresinde

4 ay farketmektedir. NBD yöntemine göre çok az da olsa daha fazla kazanç sağlamaktadır. Güvenlik önlemleri göz önünde bulundurulduğundan aralarındaki farklar anımsanmayacak düzeydedir. Bu yüzden yapılacak olan sistem de optimizerli evirici kullanılması kararlaştırılmıştır. Ve tüm yöntemler de yapılacak olan sistemin ne kadar karlı bir yatırım kaynağı olduğu görülmektedir. Tüm bu hesaplama yöntemlerine göre çıkan sonuçların sistemin yapılabilirliğinin olduğunu göstermektedir.

[]



KAYNAKÇA

- [1]. **http-1:** <http://www.yegem.com/bilgidetay/1116/fotovoltaik-nedir> (Erişim tarihi: 10.09.2020).
- [2]. **http-2:** <http://www.solarcell.com.tr> (Erişim tarihi: 21.01.2021).
- [3]. IRENA. (2012). Renewable Eneergy Techonologies: Cost Analysis Series. 10-13.
- [4]. **http-3:** <https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/> (Erişim tarihi: 10.09.2020).
- [5]. **http-4:** <https://www.myenerjisolar.com/dunyadaki-ve-turkiye-gunes-enerjisinin-gelisimi-fotovoltaik-fv-sistemler/> (Erişim tarihi: 10.09.2020).
- [6]. **http-5:** <https://www.enerjiportali.com/teias-agustos-2020-kurulu-guc-raporunu-yayimladi/> (Erişim tarihi: 21.01.2021).
- [7]. Arun, M. (2019). Types of solar cells and its applications. *Namakkal India*, 2-3.
- [8]. Brooks, B. (2009). Inspecting photovoltaic (PV) systems for code-compliance.
- [9]. **http-6:** <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5346.pdf/> (Erişim tarihi: 21.01.2021).
- [10]. **http-7:** <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5627&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (Erişim tarihi: 21.01.2021).
- [11]. **http-8:** <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm/> (Erişim tarihi: 02.01.2021).
- [12]. **http-9:** <https://vcantugakkas.wordpress.com/2019/05/12/yeni-elektrik-piyasasinda-lisansiz-elektrik-uretim-yonetmeligi-kararname-ve-aylik-mahsuplasma/> (Erişim tarihi: 15.09.2020).
- [13]. **http-10:** <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/07/20200728-2.htm> (Erişim tarihi: 02.01.2021).
- [14]. **http-11:** <https://www.genssed.org/CF/CD/187193be8aa33dcff737e04b7c6b9576c1a11591094940.pdf> (Erişim tarihi: 15.09.2020).
- [15]. **http-12:** <https://epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=r459L8DauTI=> (Erişim tarihi: 02.01.2021).
- [16]. **http-13:** <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/21-9/lisans-bedelleri> (Erişim tarihi: 02.02.2021).

- [17]. Selçukoğlu, S.A. (2012). *Fotovoltaik (Pv), rüzgâr ve hibrit sistemlerin tasarımı ve ekonomik analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18]. **http-14:** http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.pvsyst.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F01%2FPVsyst_Tutorials.pdf&date=2019-05-18, (Erişim tarihi: 15.09.2020).
- [19]. **http-15:** <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/6.aspx> (Erişim tarihi: 15.09.2020).
- [20]. **http-16:** <https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/ankara> (Erişim tarihi: 02.01.2021).
- [21]. Yücel, Y. (2016). *Güneş enerjisinden yararlanmak amacı ile fotovoltaik sistemlerin binalarda kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22]. Aksangör, N.N. (2019). *Ankara şartlarında bir fotovoltaik sistemin PVsyst programı yardımı ile performans analizi*, Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23]. **http-17:** <http://www.schmid-pekintas.com/mono395.pdf> (Erişim tarihi: 02.02.2021).
- [24]. **http-18:** <https://www.solaredge.com/sites/default/files/e-three-phase-inverter-medium-voltage-datasheet.pdf> (Erişim tarihi: 02.02.2021).
- [25]. **http-19:** https://library.e.abb.com/public/c765c62dcd174bd98d1f7845c1969852/PVS-100-120-TL_BCD.00662_TR%20HR.pdf (Erişim tarihi: 02.01.2021).
- [26]. **http-20:** <http://ekolekspertiz.com/UploadedFiles/5fb33521-d732-4e7a-bb7f-23080ec06dcb.pdf> (Erişim tarihi: 21.09.2020).
- [27]. Dündar, U.U., Ertem, M.A. Güneş Enerji Santrallerinin Kurulumu İçin Risk Değerlendirme Rehberi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 18.
- [28]. Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi*. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü. 116-118.
- [29]. **http-21:** https://enerjiapi.etkb.gov.tr/Media/Dizin/ETKB/Duyurular//0c6b62ea-bf2f-4fea-b9b3-28bc6f48ddf2_Bilgi_Formu_-_Web_Sitesi.pdf (Erişim tarihi: 27.10.2020).
- [30]. Tariq, M.A., Baker, D. (2014). Technical and economic analysis of a Solar PV Power Plant for Middle East Technical University Northern Cyprus Campus. *7th International EGE Energy Symposium and Exhibition*. Uşak, Turkey .

- [31]. Hasan Ali, S.M. (2015). In Partial Fullfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science İn Sustainable Enviroment and Energy Systems, Technical and economic analysis of a Solar PV Power Plant for Middle East Technical University Northern Cyprus Campus. 87-90.
- [32]. Cebeci, S. (2017) Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü. Turkey, 100-103.
- [33]. **http-22:** <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe-documentation.html> (Erişim tarihi: 27.10.2020).



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO:

Adı Soyadı : Muhammed SAKARYA

Yabancı Dil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı:

E-Posta :

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2014, Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- 2015-Devam Ediyor, Kıdemli Elektrik-Elektronik Bakım Mühendisi, Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş.