

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKILLI ŞEBEKELERİN MİKRO GÜNEŞ
SANTRALLERİ İLE ENTEGRASYONU**



ERDİ EKŞİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NURETTİN UMURKAN**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ŞEBEKELERİN MİKRO GÜNEŞ SANTRALLERİ İLE İLGİLİ
ENTEGRASYONU**

Erdi EKŞİ tarafından hazırlanan tez çalışması 05.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

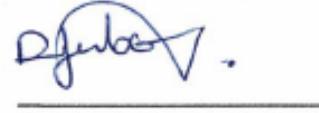
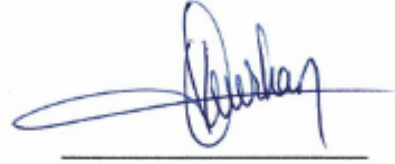
Prof. Dr. Nurettin UMURKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Recep YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nazmi EKREN
Marmara Üniversitesi



ÖNSÖZ

İnsanlığın geleceği, kullandığımız fosil yakıtlar nedeniyle doğaya vermiş olduğumuz zararlı gazların azalmasına bağlıdır. Çevre bilincinin gelişmesiyle beraber temiz enerji kaynaklarının kullanımının artması geleceğimiz için önemli bir aşama katetmiştir. Kötü hava kalitesi yaşamımızı olumsuz derecede etkilemekte ve sağlığımızı bozmaktadır. Elektrik üretim noktalarında kuracağımız ve tamamiyle temiz enerji olan güneş panellerimiz sayesinde zehirli gazları solumaktan kurtulacağız, ayrıca elektrikli araç teknolojisinin de gelişmesiyle beraber tamamiyle temiz ve çevreyle barışık bir şekilde bir yaşam sağlamamıza olanak verilecektir.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, yapmış olduğum çalışmalara yön veren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nurettin UMURKAN'a en içten teşekkürlerimi borç bilirim.

Tezimi, yüksek lisans yapmamda bana bu süreç boyunca desteğini ve yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Ece EKŞİ'ye ayrıca bu zamana kadar beni yetiştiren babam Erdi EKŞİ, annem Nimet EKŞİ ve ablalarımın ithaf ediyorum.

Haziran, 2019

Erdi EKŞİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
GÜNEŞ PANELLERİ.....	4
2.1 Güneş Enerjisi ve Potansiyeli	4
2.1.1 Güneş Işınımın Hesaplanması	5
2.2 Ülkemizde Güneş Enerjisi Potansiyeli	6
2.3 Dünyada Güneş Enerji Uygulamaları	8
2.4 Güneş Pillerinin Tarihi Gelişimi	8
2.5 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Yapısı ve Çeşitleri	9
2.5.1 Monokristal Silisyum Güneş Pilleri	12
2.5.2 Semikristal (Yarıkristal) Silisyum Güneş Pilleri	12
2.5.3 Ribbon Silisyum Güneş Pilleri.....	12
2.5.4 Polikristiral Silisyum Güneş Pilleri.....	12
2.5.5 İnce Film Güneş Pilleri.....	13

2.5.6. Amorf Silisyum Güneş Pilleri.....	13
2.6 Güneş Pili Güç Verimlilikleri.....	13
2.7 Güneş Enerjisi Sistemlerinin Ekonomik Analizi	14
2.8 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	15
2.8.1 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Avantajları	15
2.8.2 Güneş Panellerinin Kullanıldığı Yerler	16
2.9 Türkiye’deki Güneş Pili Uygulamaları	16
2.10 Fotovoltaik Güneş Panellerinin Elektriksel Karakteristikleri.....	17
2.11 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Elektriksel Modelleri.....	18
2.12 Basitleştirilmiş Model	18
2.12.1 I_L ’nin Hesaplanması	19
2.12.2 I_0 ’ın Hesaplanması	19
2.12.3 α Katsayısının Hesaplanması	20
2.12.4 R_s Direncinin Hesaplanması	20
2.12.5 T_c Panel Sıcaklığının Hesaplanması	20
BÖLÜM 3	
AKILLI ŞEBEKELER	21
3.1 Akıllı Şebekelerin Tarihiçesi	23
3.1.2 Akıllı Şebeke Kavramı ve Günümüz Oluşum Süreci.....	23
3.2 Akıllı Şebekeler ile Dağıtık Enerji Kaynakları	24
3.3 Akıllı Şebekelerin Amaçları.....	24
3.3.1 Akıllı Şebekelerde Olması Gereken Özellikler	25
3.3.2 Akıllı Şebekelerin Avantajları	25
3.4 Türkiye’de ve Dünya’da Akıllı Şebeke Uygulamaları.....	26
3.5 Akıllı Şebekeler Politikaları.....	27
3.6 Türkiyede Bazı Akıllı Şebeke Uygulamaları	28
BÖLÜM 4	
GÜNEŞ SANTRALLERİ ile ŞEBEKE ENTEGRASYONU	30
4.1 AG Seviyesinde GES Bağlantıları	30
4.2 GES Koruma Sistemleri	30
4.2.1 İrtibat Sistemleri.....	31
4.2.2 Teknik Hizmetler	32
4.3 Şebekenin GES’ten korunması	34

4.3.1	Senkronizasyon	34
4.3.2	Topraklama.....	34
BÖLÜM 5		
ÇATI TİPİ GÜNEŞ SANTRALİ TASARIMI		35
5.1	Tasarım Kriterleri	35
5.1.2	DC Sistem	35
5.1.3	Yıldırımdan Korunma, Topraklama, Aşırı Gerilimden Korunma	43
5.1.4	AC Sistem	44
5.1.5	Sistem Performansını Etki Edecek Diğer Etmenler	46
5.1.6	Montaj Sırasında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	46
5.2	Çatı Üzeri PV Santral Tasarımı.....	48
5.2.1	PVSOL Programı	48
5.2.2	Simülasyon	49
5.2.3	Simülasyon Sonucunun Yorumlanması	61
5.2.4	Sistemin Ekonomik Açısından İncelenmesi	66
5.2.5	Ekonomik Yorumlama	70
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		71
KAYNAKLAR		71
ÖZGEÇMİŞ		71

SİMGE LİSTESİ

E_{e0}	Güneş sabiti
f_g	Güneş sabiti düzeltme faktörü
E_g	Güneş ışınım değeri
r_0	Güneş ile Dünya'nın yıllık ortalama uzaklığı
r_g	Güneş ile Dünya'nın anlık uzaklığı
I_L	Güneş hücresi foton akımı
I_0	Güneş hücresi doyum akımı
I	Güneş hücresi yük akımı
R_s	Güneş hücresi seri bağlı direnç
φ	Güneş ışınımı
φ_{ref}	Güneş referans ışınımı
$\mu_{1,ref}$	Akıma bağlı sıcaklık katsayısı
$U_{mp,ref}$	Referans noktadaki maksimum güç gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

ANSI	American National Standard Institute (Amarikan Ulusal Standartları Enstitüsü)
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
ASTM	American Society of Testing Materials
DEK	Dağıtılmış Enerji Kaynakları
EN	Avrupa Standartları
IEC	International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
GES	Güneş enerjisi santrali
MPPT	Maximum power point tracking (Maksimum güç nokta izleyici)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UV	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Güneşten atmosfer dışına gelen enerjinin yıl içerisindeki değişimi	5
Şekil 2.2 Silikon hücre yapısı	10
Şekil 2.3 Silikon güneş hücresi yapısı	10
Şekil 2.4 Fotovoltaik gruplar	11
Şekil 2.5 Tek hücre ve modüle ait I-V eğrileri.....	11
Şekil 2.6 Panel gruplarına ait I-V karakteristiği	17
Şekil 2.7 Işınımın I-V karakteristiğine etkisi.....	18
Şekil 2.8 Güneş pili basit bir eşdeğer devresi.....	18
Şekil 3.1 Yıllara göre ülkelerin elektrik tüketim grafiği	21
Şekil 5.1 Uyarı levhası.....	39
Şekil 5.2 PV dizimleri	40
Şekil 5.3 YTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Uydu Görüntüsü	50
Şekil 5.4 Güneş paneli monte edilebilecek alanlar	50
Şekil 5.5 Program giriş ekranı.....	51
Şekil 5.6 Sistem tipi seçimi	52
Şekil 5.7 Panel ölçüleri	54
Şekil 5.8 Panel performans eğrileri	55
Şekil 5.9 A Blok görünüş	55
Şekil 5.10 A Blok yerleşim	56
Şekil 5.11 B Blok görünüş	56
Şekil 5.12 B Blok yerleşim	56
Şekil 5.13 C Blok görünüş	57
Şekil 5.14 C Blok yerleşim	57
Şekil 5.15 D Blok görünüş.....	57
Şekil 5.16 D Blok yerleşim	58
Şekil 5.17 Blok gölgelenme etkisi sonuçları	59
Şekil 5.18 Seçilen İnvertör	60
Şekil 5.19 Yük akış grafiği	61

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı	7
Çizelge 2.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi bölgelere göre dağılımı	7
Çizelge 2.3 Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler.....	13
Çizelge 2.4 Güneş pili yapımında kullanılan maddelerin dünya rezervleri ve üretimi.	14
Çizelge 5.1 Tüketimin aylara bağlı dağılımı	53
Çizelge 5.2 Aylara göre üretim tüketim grafiği	62
Çizelge 5.3 Blokların üretim miktarı	63
Çizelge 5.4 Panellerin yıllara bağlı üretim miktarı.....	64
Çizelge 5.5 21 Haziran günü üretim tüketim grafiği.....	65
Çizelge 5.6 21 Aralık günü üretim tüketim grafiği.....	65
Çizelge 5.7 Nakit akış grafiği.....	66
Çizelge 5.8 Yıllara bağlı nakit akış grafiği.....	67
Çizelge 5.9 Maliyetler	69
Çizelge 5.10 Santral kurulmadan önce ve sonra elektrik fatura değeri.....	70

AKILLI ŞEBEKELERİN MİKRO GÜNEŞ SANTRALLERİ İLE ENTEGRASYONU

Erdi EKŞİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Fosil yakıtların çevreye olan zararlı etkileri ve tükenilebilir olması, nükleer enerji kullanımlarının artık kısıtlanması nedeniyle artan enerji talepleri yenilenebilir enerji kaynaklarıyla sağlanmaya başlanmıştır. Rüzgar ve güneş alanını da artan araştırmalar devletlerin de uyguladığı enerji politikalarıyla günümüzde kullanım oranlarını önemli bir derece de arttırmaktadır. Ayrıca artan enerji talebini karşılamak için geleneksel tek yönlü iletim hatlarının kapasite arttırımındaki yüksek maliyetlerin ortaya çıkması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasıyla, tüketim kaynaklarına yakın üretim kaynağının oluşturulması gündeme gelmiştir.

Güneş enerjisi insanlık var oluşu sürece dünyamızı ışıtmaya devam edecektir. Bu nedendir ki insanlığın bu enerji kaynağından olabildiğince yararlanması gerekmektedir. Ayrıca ülkemizdeki güneş potansiyeli incelendiğinde birçok Avrupa ülkesinden çok daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. Enerji yakıtlarının çok büyük kısmını yurtdışından ithal ettiğimizden dolayı cari açığımıza büyük bir dezavantajı olmaktadır. Aynı zamanda dünyanın içinde bulunduğu politik durumlardan dolayı ileri de enerji ve su savaşlarından söz edilmektedir.

Yapılan teknik analizleri de göz önünde bulundurduğumuzda teorik olarak ülkemizin en küçük ili kadar olan bir alana kurulacak güneş panelleri ile toplam 1 yıllık enerji talebimizi karşılayacak güneş potansiyeline sahip olmaktadır. Teorik olarak

hesaplamalar bunu gösterse de, ışınımın olmadığı zamanlarda üretimin olmaması ve meteorolojik olarak net tahmin yapılamayışı ve şu anki depolama maliyetleri bu sistemin şu aşamada ilk enerji kaynağı olarak kullanmamıza engel olmaktadır. Ancak şu anda yeni enerji depolama üzerinde maliyetleri önemli derece de azaltılacak çalışmalar yapılmaktadır. Bunları da göz önünde bulundurursak önümüzdeki yıllarda bu sistemin ülkemiz olarak önemli bir derece de katkıda bulunacağı aşikardır.

Ülkemizin yüz ölçümünü ve nüfusunu göz önünde bulundurduğumuzda önemli derecede bina ve bu binaların çatısı bulunmaktadır. Tez kapsamında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi binasının çatısındaki boş alanı değerlendirmek amacıyla uygun simülasyon programı vasıtasıyla güneş paneli kurulması tasarlanmış ve teknik ve ekonomik açısından uygunluğu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: mikro güneş santrali, şebeke bağlantılı pv, şebeke entegrasyonu, güneş enerjisi



INTEGRATION OF SMART GRIDS WITH MICRO PV SYSTEMS

Erdi EKŞİ

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Alternative energy sources have been caused to increase that effects of fossil fuels on the environment and the reduction of their sources and damages of nuclear energies. Most of countries have developed these resources through energy policies implemented in wind and solar energy. There is a very high investment cost for increasing energy demands. The spread of renewable energy resources has also ensured the establishment of these power plants close to the point of consumption.

As long as the sun exists, humanity will continue. We need to benefit from this resource. When we look at the solar potential in our country, we are better than many European countries. Because we have to import energy fuels from other countries that this situation is a negative effect on our economy. It is thought that water and energy crises will emerge.

As a result of our research, if we install solar panels in a small area like the smallest city in Turkey, It generates our annual energy consumption. It is a disadvantage that solar energy is not produced at night and is unpredictable. The high battery costs are used as a secondary energy source. However, this system will become widespread in the coming years due to the decrease in battery costs.

Within the scope of the thesis, the solar panel design has been designed for Yıldız Technical University Electrical Electronics Faculty roof and technical and economic analysis has been calculated.

Keywords: micro solar panel, integration, on grid solar power plant





1.1 Literatür Özeti

Tez ile ilgili olarak daha önceden yapılan araştırmaların özetleri aşağıda belirtilmiştir. Rashid, şebeke bağlantılı PV santrallerin bina çatılarına monte etmek maksatıyla tasarımıyı yapmıştır. Ayrıca çatı üzerinde PV panellerin seri ya da paralel bağlantı noktalarını veya invertör dizilimini değiştirerek maksimum seviye de güç üretmeyi tasarlamıştır. Ayrıca binanın güney cephesine uygun olan alanlara PV modül tasarlayarak çıktı sonuçları incelenmiştir. Bu tasarladığı farklı varyasyonlar Almaya'da kullanılan Euro-Efficiency (Euro-Verim) hesaplarıyla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak çatı üzerinde kurduğu PV santrallerin, cepheye nazaran daha verimli olduğu hesaplanmıştır[1].

Şişman, 2017-2023 yılları arasındaki ilave artacak elektrik tüketimi ile ilgili bazı demografik bilgileri kullanarak ek yük tahminini hesaplamış, bu gereken ilave yük ile ilgili il bazında üretim-tüketim istatistiklerini çıkararak, il bazında gerekli güç ihtiyacını belirlemiştir. Ayrıca bu gereken ilave güç ile ilgili yatırım bedelini, geri dönüş süresini ve cari ekonomiye olan katkısını incelemiş, gereken bu yatırımı düşürmek için tavsiyelerini belirtmiştir[2].

Sundaram ve arkadaşları, şebeke bağlantılı PV santrallerinin entegrasyonu sırasındaki oluşabilecek problemleri incelemişlerdir. Bu bağlamda invertörden kaynaklanan harmoniklerin ve entegrasyon noktasının şebekeye olan zararlı etkileri araştırılmış, bu zararları en aza indirmek için invertör tarafında alternatif kontrol metotları önererek harmonik seviyelerinin standartlarda kalmasını hedeflemiştir[3].

Phuttapatimok ve arkadaşları, alçak gerilim tarafından tek transformatöre bağlı olan PV santrallerinin kısa devre hesaplamalarını araştırmış, PV olmayan hatlara göre daha yüksek bir kısa devre arıza akımıyla karşılaşmışlardır. Sonuç olarak PV santrallerinin olduğu hatta kısa devre akımına göre ekipman seçimini ve ilgili koruma rölelerini önermişlerdir[4].

Muni ve arkadaşları, şebeke bağlantılı PV santrallerin teknik problemlerini araştırmış, invertörden dolayı şebekeye bağlantı noktalarındaki güç kalitesi, gerilim ve frekans dengesizliğinin hassas yükler için zararlı olduğunu belirtmiştir[5].

1.2 Tezin Amacı

Elektrik üretimi, genellikle tüketim noktalarına uzak bir şekilde kurularak uzun iletim hatları vasıtasıyla ulaştırılır. Gelişen ekonomi ve nüfusun artmasıyla birlikte gün geçtikçe mevcut iletim hatları kapasitelerini kaldıramamakta ve ilave yatırım maliyetleri getirmektedir. Aynı zamanda elektrik arz ve güç güvenirliliği de göz önünde bulundurulduğunda bu sorumluluğun takibi ve işletmesi dağıtım şirketlerine verilmiş olup, herhangi bir olumsuz durumda yüksek cezalar söz konusudur.

Hem fosil yakıtların enerji talebini azaltmak, enerji ithalatını minimuma indirmek, milli ekonomiye katkı sağlamak, çevreye zararı olmayan enerji üretim kaynaklarını göz önünde bulundurmak ve enerji çeşitliliğini yedeklemek adına güneş panellerinin yaygınlaştırılması söz konusudur. Büyük güneş tarlalarının yanı sıra, güney şehirlerimizde çok yaygın olan ve Dünya'da 2. sırada olduğumuz[6] güneş enerjisinden sıcak su elde edilmesi gibi bireysel kullanıcıların çatılarına güneş paneli kurarak önce kendi tüketimi karşılamak ardından fazlasını üretirse şebekeye bu enerjiyi satarak ek bir gelir elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde birey olarak tüketim kaynağının yakınında bir üretim santrali oluşturarak fosil kaynaklarını olabildiğince az kullanarak çevreye bağlı bir şekilde üretim elde etmiş olacağız.

1.3 Hipotez

Güneş enerjisinin santral kurulumunun belirlenmesi için, bulunan alanın güneş ışınımı, sıcaklık ve gölgelenme etkisine bağlıdır. Santral kurulum maliyetinin yanısıra enerji

iletim maliyetlerini de göz önünde bulundurmak gereklidir. Ayrıca yapılan ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması santral kurulum öncesi projelendirme ve maliyet hesaplamalarının iyi yapılması gereklidir. Seri bağlı güneş panellerinde oluşan bir gölgelenme etkisi bile santral verimini ve çıkış gücünü çok ciddi bir şekilde düşürecek ve kazanç kaybı yaşatacaktır. Bu tez kapsamında birçok bina da olduğu gibi boş çatıları değerlendirmek amacıyla, santral kurulmadan uygun simülasyon programıyla çatı alanına göre uygun güneş santrali tasarımı yapıp uygulama öncesi, tahmini güç, enerji üretimi, panel verimi, maliyetler ve hesaplamalar gibi gerçeğe çok yakın bir şekilde hesaplamalar yapıp uygun bir şekilde gerçekçi bir tasarım yapılabilecektir.



GÜNEŞ PANELLERİ

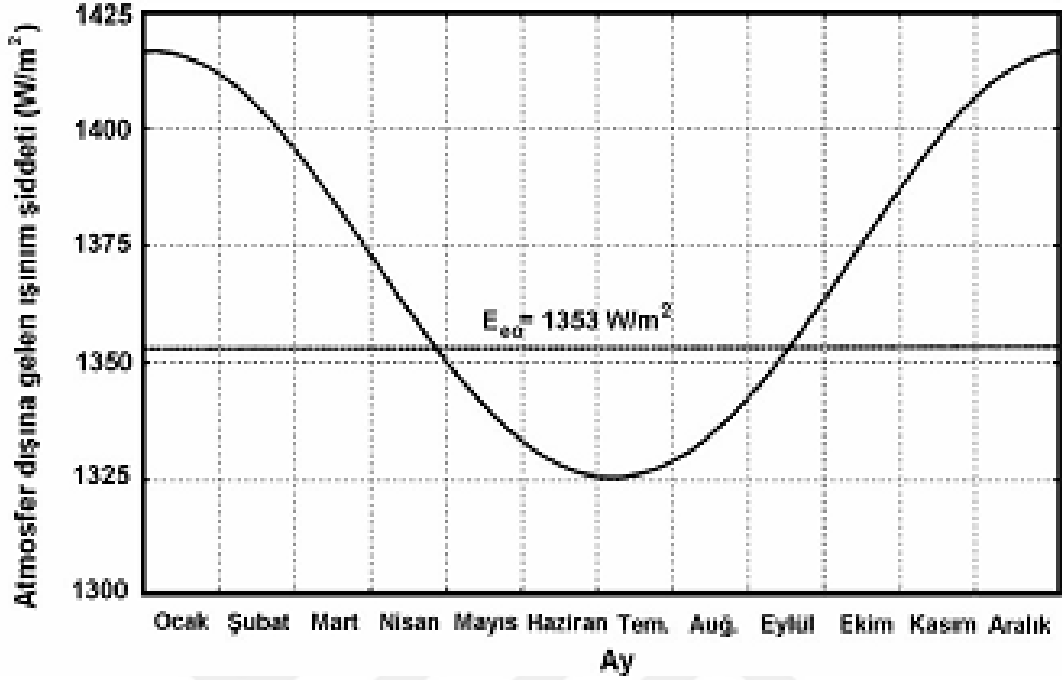
2.1 Güneş Enerjisi ve Potansiyeli

Çapı 1,4 milyon km, dünyadan 110 kat daha büyük ve $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta bulunan ve yaşamın var olmasını sağlayan bir yıldızdır güneş. Sıcaklığı yaklaşık olarak $5700 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu tahmin edilmektedir. Sağladığı enerjinin kaynağı, 4 adet hidrojen atomunun, 1 adet helyum atomuna dönüştürmesinden kaynaklanan enerji farkından dolayıdır. Güneşin büyüklüğünü göz önünde bulundurursak 1 saniye de 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve eksik olan 4 milyon ton kütlenin karşılığı $3,86 \times 10^{26}$ J enerji açığa çıkmaktadır. Bu enerji de güneş ışınımı olarak uzaya yayılmaktadır. Bu ışınımın gücü yaklaşık olarak 170 milyon MW'tır. Yani Dünya'ya gelen enerji miktarı, dünyanın bir yılda kullandığı enerjinin 20 bin katıdır[7]. Ancak atmosfer ve kayıpları göz önünde bulundurduğumuzda sadece çok az bir kısmı atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşmaktadır.

Güneş enerjisinden yararlanma ile ilgili çalışmalar 1970 yıllarının başlarından itibaren gelişmeye başlamış, bu tarihlerden itibaren birim enerji maliyetleri gün geçtikte düşmeye başlamıştır. Doğaya karşı herhangi bir zararlı gaz yaymamasından dolayı da temiz enerji kaynağı olarak herkes tarafından kabul edilmiştir.

Dünyaya güneşten enerji metrekare başına 1300-1400 W aralığındadır. Güneşten gelen enerji dünyanın yörüngesi dolayısıyla eşit olarak gelmemektedir. 3 Ocak günü dünya ile güneş arasındaki en kısa mesafedir. Bu ışınım miktarı 1412 W/m^2 'dir. En uzak mesafenin olduğu 4 Temmuz günü ise atmosfere gelen ışınım 1322 W/m^2 'dir. Bu

aradaki fark %6 civarlarındadır. Atmosfere yıl içerisindeki değişimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Güneşten atmosfer dışına gelen enerjinin yıl içerisindeki değişimi

2.1.1 Güneş Işınımın Hesaplanması

Güneş ışınım değeri hesaplamak için güneş sabiti E_{e0} değeri kullanılır. Bu değer, birim alana gelen tüm dalga boylarındaki güneş ışınımının anlık olarak değeridir. Herhangi bir günde tüm dalga boylarındaki güneş ışınım değeri, güneş sabiti E_{e0} , güneş ile dünya arası uzaklık r_g ve yıllık ortalama uzaklık r_0 olmak üzere

$$E_g = \frac{r_0^2}{r_g^2} \times E_{e0} = f_g \times E_{e0} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir. f_g güneş sabiti düzeltme faktörüdür. Güneş sabiti düzeltme faktörü f_g ise, "g" değeri sene başından o güne kadar olan gün sayısını gösterir,

$$f_g = 1 + 0.033 \cos\left(360 - \frac{g}{365}\right) \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Thekaekara (1976) güneş sabitini 1353 W/m^2 olarak vermiş ve bu değer ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart değer olarak kabul edilmiştir.

Dünyaya gelen bu enerjinin en az %3'lük kısmı atmosfer tarafından emilmekte veya ışınım yayılmakta olduğundan prensip olarak açık ve bulutsuz bir gönde yere dik olarak gelen güneş enerjisi 1000 W/m^2 olmaktadır[8].

2.2 Ülkemizde Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli açısından bulunduğu konumu nedeniyle birçok ülkeye göre daha verimli durumdadır. Güneşten dünyaya gelen enerji miktarı saniye de 170 milyon MW mertebesindedir[7]. 2018 yıl sonu itibarıyla yıllık enerji tüketimi 303 milyon MWh olmuştur[9]. Bu iki değeri karşılaştırdığımızda teorik olarak sadece yılda 2 saatlik bir güneş enerjisi ülkemizin tüm yıl boyunca enerji tüketimini karşılayacak kapasitededir.

Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme süresi günlük 7,2 saat yıllık ise 2640 saat olarak Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne hesaplanmıştır. Ortalama ışınım 1311 kWh/m^2 -yıl, günlük ise toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$ olduğu tespit edilmiştir[7]. Yıllık tüketilen enerji miktarı 303 milyar kWh olan ülkemizin bu enerji ihtiyacını karşılamak için sadece 1250 km^2 alana sahip güneş panellerine ihtiyacı olacaktır. Türkiyenin 783.562 km^2 alana sahip olduğunu düşünürsek, yüz ölçümü 850 km^2 ile en küçük ilimiz olan Yalova'nın bile 1/3'ü oranında bir alana monte edeceğimiz güneş panelleri uygun depolama şartlarını da yerine getirerek yıllık enerji miktarını karşılayabilecek seviyededir.

Çizelge 2.1'de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aylara göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.1 Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	51,75	103
Şubat	63,27	115
Mart	96,65	165
Nisan	122,23	197
Mayıs	153,86	273
Haziran	168,75	325
Temmuz	175,38	365
Ağustos	158,40	343
Eylül	123,28	280
Ekim	89,90	214
Kasım	60,82	157
Aralık	46,87	103
Toplam	1.311,00	2.640
Ortalama	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

Enerji potansiyeli en yüksek olan bölgemiz Güneydoğu Anadolu bölgesidir.

Çizelge 2.2' de Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.2 Türkiye'nin yıllık enerjisinin bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi (kWh/m ²)	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi (kWh/m ²)	Ortalama güneşlenme süresi (saat/yıl)	En çok güneşlenme süresi Haziran (saat)	En Az güneşlenme süresi Aralık (saat)
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

Yukarıdaki tabloya göre Haziran ayı en çok güneş enerjisi üretebilecek potansiyele sahip ay, Aralık ayı ise en az enerji üretilebilecek ay olarak hesaplanmıştır. Bölgeler açısından Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri önde gelmektedir. Karadeniz bölgesi bile çoğu Avrupa ülkelerinden daha fazla bir potansiyele sahiptir.

2.3 Dünyada Güneş Enerji Uygulamaları

Dünyada gelişmiş ülkeler güneş enerji potansiyelini gerekli akademik çalışmalar vasıtasıyla çalışmalarını ve AR-GE yatırımlarını bu alana aktararak önemli derece de enerji üretimine fayda göstermişlerdir. İlk aşamalarda maliyetlerin yüksekliğinden dolayı sadece elektrik hattı olmayan bölgelerde aydınlatma ve baz istasyonlarının enerjilerini karşılamak için kullanılan PV sistemler, günümüzde fabrika, ev ve kamu binalarının çatılarında tüketime yardımcı olmak amacıyla, güneş tarlaları kurularak şebekeyle entegre bir şekilde üretim santrali olarak, yol aydınlatmalarında, kamp alanlarında aydınlatma ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, otobanların asfalt yolun altına montajı sağlanarak yoldan elektrik üretimi şeklinde bir çok alanda kullanım alanı bulunmaktadır.

2.4 Güneş Pillerinin Tarihi Gelişimi

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimini sağlayan yapılara fotovoltaik ya da güneş pilleri olarak adlandırılırlar. Photo (Foto) latince de ışık anlamına gelmektedir. Volta gerilimin birimini ve bir İtalyan fizikçiden gelmektedir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek ile ilgili ilk çalışmalar 1839 yılında Edmand ecquerel tarafından ortaya atılmıştır. Becquerel elektrotlar daldırılmış bir elektrolite güneş ışınımı vermesiyle ortaya gerilim oluştuğunu gözlemlemiş ve 1914 yılında sadece %1 verimle çalışan selenyum maddesinden yapılan piller geliştirilmiştir.

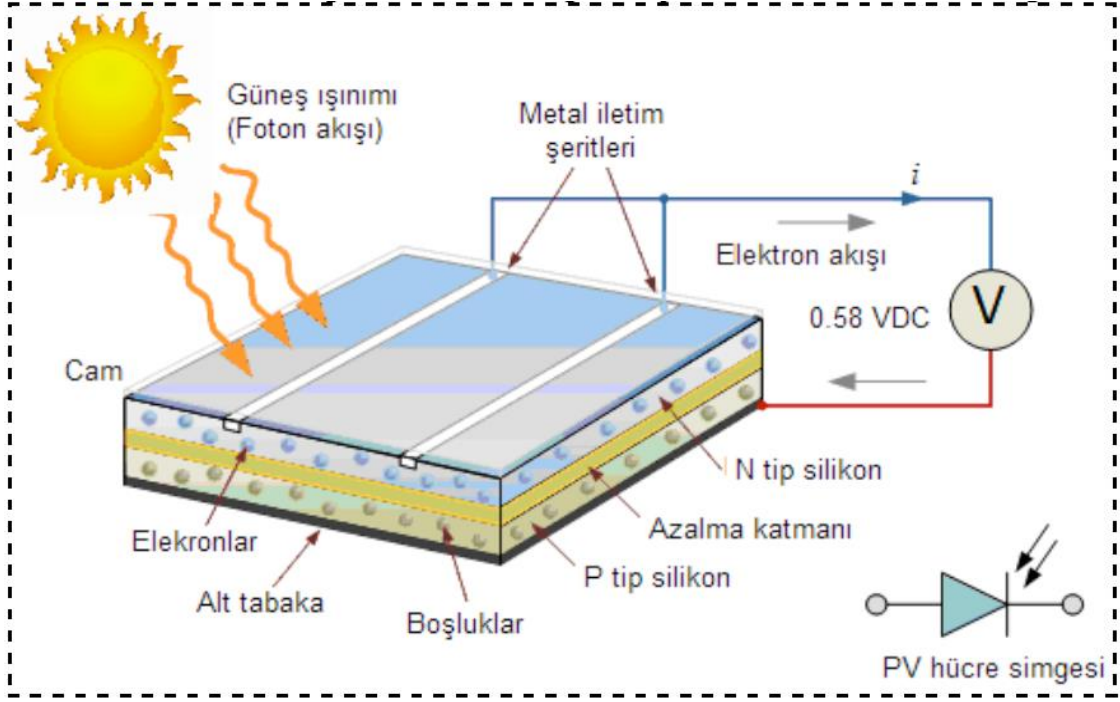
Günümüzde kullanılan ve yarı iletken teknolojisiyle üretilen ilk PV ise 1954 yılında Chaplin ve ekibi tarafından Bell laboratuvarında çalışma yapılarak geliştirilmiştir. Bu PV modülleri güneşten gelen enerjinin sadece %4'ünü elektrik enerjisi olarak üretim yapabiliyordu. Sonraki yıllarda uydulardaki enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla PV modüllerin kullanımı yaygınlaşmasıyla gelişmeye devam etmiştir. Geliştirme

maliyetlerinin azalmasıyla beraber 1980'li yıllardan itibaren ticari alanda yaygınlaşmıştır.

2.5 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Yapısı ve Çeşitleri

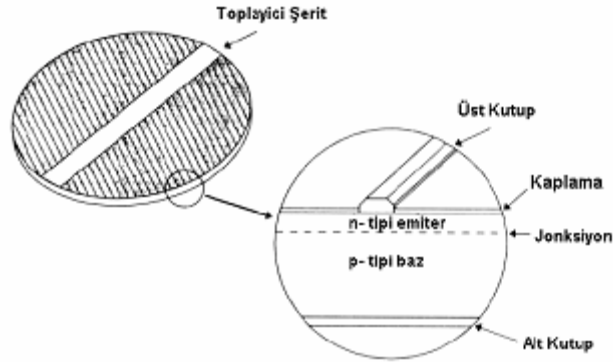
PV modüllerden elektrik üretimi özetlersek, güneş ışınımın güneş hücrelerine ulaşmasıyla içerisindeki fotonların hareketlerinden dolayı oluşan enerjinin potansiyel gerilim farkı olan bir bağlantı yaparak elektrik enerjisi elde etme olayıdır.

Güneş pilleri yarı iletken teknolojisinin PV etkiyi kullanarak çalışan yapılardır. Yarı iletken elementleri son yörüngelerinde dört adet elektron bulundurlar. Bu dört elektrona valans elektronları da denir. Silisyum, Germanyum en çok kullanılan yarı iletken elementleridir ve periodik cetvelin IV. Gurubunda bulunmaktadır. Bu maddeler genellikle diyot, tristör, mosfet vb. gibi birçok elektronik devre elemanın hammaddesidir. PV modüllerinde diğer elektronik ekiplanlarından ek olarak p ve n malzeme katmanları bulunmaktadır. Bu iki katman arasında azalma katmanı bulunmakta ve elektronların sadece tek yönde hareket etme işlevini üslenmektedir. Fotonların enerjisi hücre yüzeyine düşmesiyle serbest elektronlar hareket etmeye başlar ve bu elektronları bir kapalı devreden geçirildiğinde elektrik akımı üretilmiş olmaktadır[10].



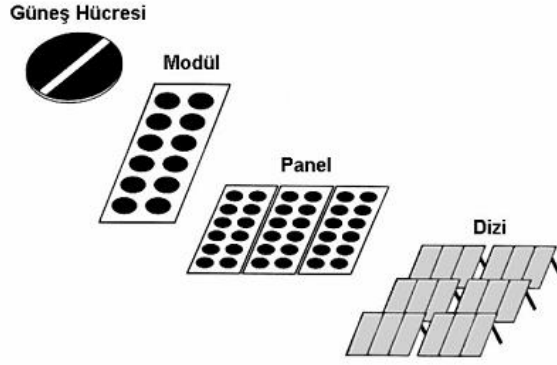
Şekil 2.2 Silikon hücre yapısı

Bir silikon güneş hücresinin yapısı Şekil 2.2 de verilmiştir. Fotovoltaik hücrenin ışık alan yüzeyi güneş ışınlarının alt tabakaya geçmesine müsaade eden ve yansımayı engelleyen bir yalıtkan malzeme ile kaplanmıştır [8].



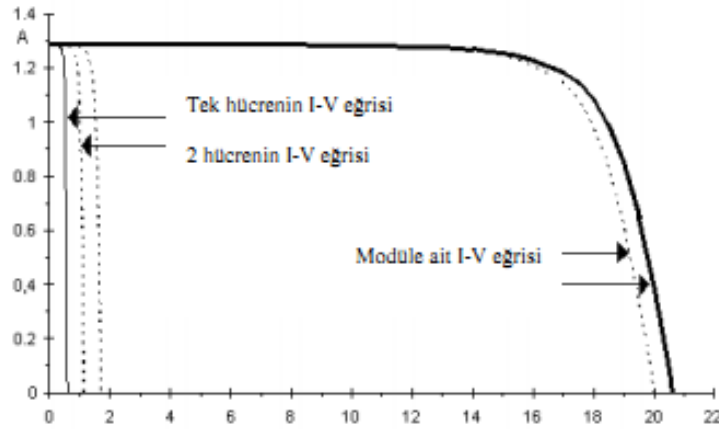
Şekil 2.3 Silikon güneş hücresi yapısı

Güneş hücreleri daha yüksek elektrik gücü elde etmek adına ilgili sayıda seri ve paralel bağlantı yaparak gruplar haline getirilir.



Şekil 2.4 Fotovoltaik gruplar

Tek bir güneş hücresinin verebileceği gerilim yaklaşık 0,5 Volt olduğundan modüller oluşturulurken birçok güneş hücresi birbirlerine seri bağlanarak oluşturulacak olan modülün gerilimi artırılır. Şekil 2.5 de tek hücre ve modüle ait I-V (Akım-Gerilim) eğrileri verilmiştir.



Şekil 2.5 Tek hücre ve modüle ait I-V eğrileri

PV modüllerin piyasayada birçok tipi bulunmaktadır. En çok kullanılanlar: monokristal silisyum ve polikristalli silisyumden imal edilen PV modüllerdir. Bu tiplerin dışında ince film tipi modüllerde bulunmaktadır. Bunlar seri üretilebilir olduklarından diğer modüllere göre daha ucuzlardır ancak verimleri diğer panellere göre daha düşüktür. Bu modüller arasında en yüksek verimli olanı monokristaldir. Ancak maliyeti diğerlerine göre daha yüksektir. Son yıllarda yapılan çalışmaların artması güneş hücrelerinin verimlerinin daha da arttırabileceğini göstermiştir.

2.5.1 Monokristal Silisyum Güneş Pilleri

İlk ticari güneş hücrelerinde, chrozalski tekniği adı verilen kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapıli silisyumlardan üretilmiştir. PV sanayisinde günümüzde de en çok kullanılan yöntem olan bu teknikte ilk olarak ark fırınlarında silisyum oksit bir çeşit kimyasal ve termal işlemlerden geçirilerek saf silisyum elde edilir. Bu işlemlerden sonra silisyum, eriyiğe çekirdek olarak adlandırılan tek kristal yapıli bir silisyum parçası batırılır. Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında soğuyan silisyum eriyik, çekirdeğin üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe olur olmaz bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu, iki aşamada olur. Önce külçe dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Hücre verimleri %25 civarındadır. Modül verimleri ise yaklaşık %20'dir. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu pillerin dezavantajıdır[8].

2.5.2 Semikristal (Yarıkristal) Silisyum Güneş Pilleri

Bu güneş pilleri sıvı silisyumun soğutulmasıyla elde edilen küçük silisyum kristallerinden oluşur. Ortalama verimleri %14 civarındadır. Silisyum taneciklerinin kayıplarına bağlı olarak verimleri değişmektedir.

2.5.3 Ribbon Silisyum Güneş Pilleri

Bu güneş pilleri laboratuvar ortamında geliştirme aşamasındadır. Ortalama verimleri %14'tür. Levha halindeki silisyum tabakalarından malzeme kayıplarının azaltılmasıyla imal edilirler.

2.5.4 Polikristiral Silisyum Güneş Pilleri

Monokristal güneş hücreleri ile hemen hemen aynı üretim tekniğine sahiplerdir. Tek farkı içinde bulunan kristal yapının daha düzensiz yayılmasıdır. Ekonomik açıdan uygun olması nedeniyle piyasa da en çok kullanılan PV modüllerdir. Verimleri %15-16 arasındadır.

2.5.5 İnce Film Güneş Pilleri

Bu modüller daha az kalınlıkta olan maddeler kullanılarak (tek kristalin 500'te 1'i kalınlığında) imal edilirler. Amorf silisyum malzemesinin absorpsiyon katsayısı, diğer panellerde kullanılan kristal silisyum katsayısından daha fazla olduğu için daha az alanda daha fazla üretim sağlanır. Bu nedenle bu yapılarda daha az malzeme kullanılarak montaj kolaylığı sağlanır.

2.5.6 Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Bu modüller yukarı da anlatılan ince film teknolojisinin en popüler uygulamasıdır. Yapısında p-i-n katmanları bulunmaktadır. Verimleri %5-8 arasındadır. Ömürleri diğer panellere nazaran daha azdır.

2.6 Güneş Pili Güç Verimlilikleri

PV modüller laboratuvar ortamında sürekli olarak geliştirildiklerinden özellikle verim ile ilgili veriler gün geçtikçe güncellenmektedirler. Tek bir kaynaktan karşılaştırma yapıldığında aşağıdaki tabloda özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.3 Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler

Fotovoltaik Pilin Cinsi	Alan (cm ²)	Verimlilik (%)	Üretilen Birim
Tek Kristalli Silisyum	4	24	UNSW, Sydney Avustralya
Çok Kristalli Silisyum	21.2	17.4	ISE, Freiburg Almanya
Amorf Silisyum	1	14.7	United Solar
CdTe/CdS	0.4	15.8	USA
GaAS Tek Kristal	1	23.9	K.Univ, Nijmegen Hollanda

Silisyum malzemesi doğada rezerv açısından en çok bulunan element olmasından dolayı üretim açısından herhangi bir kısıtlayıcı bir durum söz konusu değildir. Panel üretiminde kullanılan diğer elementlerin rezerv durumları ve örnek olarak 500 MW güç üretimi için gerekli miktar Çizelge 2.4'te özetlenmiştir

Çizelge 2.4 Güneş pilindeki ana maddelerin Dünya rezervleri

Element	Dünya Rezervleri	Dünya Yıllık Üretimi	500MW Güç İçin Gereken Miktar (Ton)
CD	970.000	20.000	25
Te	39.000	404	28
In	5.700	180	25
Se	130.000	2.000	60
Ga	100.000	35	5

2.7 Güneş Enerjisi Sistemlerinin Ekonomik Analizi

Güneş enerji sistemlerini ekonomik açıdan karşılaştırdığımızda karşımıza çıkan en büyük problem ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Birim enerji maliyetleri ortalama 1.000 Euro/kW olarak hesaplanmaktadır. Tabii bu maliyetler sistemin kurulu gücüne ve santral lokasyonuna göre değişiklik göstermektedir. Şebekenin erişemediği noktalarda kurulan küçük güçteki santraller ekonomik olmaktadır. Son yıllarda hızla bir gelişim gösteren yüksek güçlerde şebekeye entegre güneş santralleri sınırlı rezervlere sahip fosil yakıtlara bir alternatif enerji kaynağı oluşturmuştur. Üretimin sürekli olmaması nedeniyle alternatif olarak depolama üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiş fakat depolama maliyetlerinin şu anki koşullara göre çok yüksek olması ekonomik açıdan uygulanabilir olmamaktadır.

Devletler tarafından verilen teşvikler sayesinde, satın alma garantisi, bankaların düşük kredi oranı ve uzun vadeler nedeniyle kurulu güç gün geçtikçe artmaktadır. Hali hazırda ülkemizde 10 yıl boyunca 0,133 dolar cent/kWh teşvik uygulanmaktadır. Ekonomik ömürlerinin 25 yıl boyunca %80 verimle çalışıyor olması ve amortisman süresinin 7-10 yıl arası olması yatırımcıları bu konu hakkında cazip kılmaktadır.

Depolama maliyetlerinin düşmesiyle beraber artık hibrit sistemler yaygınlaşacak ve gündüz fazla elektrik akülerde depolanıp, güneş olmadığı zamanlarda da santral sürekli bir şekilde enerji üretmiş olacaktır.

2.8 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

PV sistemlerinin avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

2.8.1 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Avantajları

- Herhangi bir fosil yakıtı ihtiyacı yoktur, güneş ışınımı olduğu sürece sistem sürekli ve bağımsız olarak elektrik üretebilir.
- Üretim için generatör gibi hareketli parçalar olmadığından bakım maliyetleri daha azdır.
- Enerji üretimi için herhangi birim başına enerji üretim yakıt maliyetleri yoktur. Yakıt olmadığı için o yakıtı taşıma ve depolama için gereken maliyetler sıfırdır.
- Statik olarak uygun projelendirildiğinde, tüm hava şartlarına ve doğa olaylarına karşı dayanıklıdır.
- Tüketim noktalarının yanlarına kolaylıkla kurularak iletim hatları kayıp maliyetleri oldukça az olabilmektedir.
- Sistem modüler yapıda tasarlandığından, santral güçleri kolaylıkla yükseltilebilir.
- Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak 2 şekilde de kullanılabilir.
- Çevreye karşı herhangi bir atık oluşturmadığından ciddi bir seviyede karbondioksit salımına faydası vardır.

2.8.2 Fotovoltaik Güneş Sistemlerinin Dezavantajları

- Yüksek güçler üretilmesi için, diğer santral tiplerine göre daha geniş alanlara ihtiyaç duymaktadır.
- Güneş ışınımının olmadığı zamanlarda enerji üretemez. Şebekeden bağımsız tasarlandığında akü grubuna ihtiyaç duymaktadır.
- Enerji depolanmak istenirse depolama maliyetleri çok yüksektir.
- Modüller çok ince olduğundan, mekanik olarak korunması için mekanik korunmaya ihtiyaçları vardır.
- İlk yatırım maliyetleri diğer santrallere göre çok yüksektir.

- Mevcut şebekelerin röle ayarları geleneksel tek yön iletimi olarak tasarlandığından dağıtık sistemler de röle koordinasyonlarında sorunlar yaşanabilmektedir.
- Şebeke ile entegre çalışan sistemlerde invertörün içinde bulunan yarı iletkenlerden dolayı ciddi bir şekilde harmonik oluşturmaktadır.
- Şebeke ile entegre çalışan sistemlerde referans gerilimini şebeke tarafından alındığından dolayı şebeke olmadığı zamanlarda enerji üretimi güvenlik sebebiyle üretim gerçekleşmemektedir.
- Her ne kadar hava tahminleri çok gelişmiş olsa da gerçek anlamda yük tahmini yapılamamaktadır.

2.8.3 Güneş Panellerinin Kullanıldığı Yerler

Güneş enerjisi elektrik talebi istenilen ve güneş olan her yerde kullanılabilirler.

- Elektriği olmayan şehre uzak köyler
- Deprem, doğalgaz, su gibi ölçüm istasyonları
- Farklı akademik uygulamalar, ar-ge projeleri
- Sanayi uygulamalarına otoprodüktör sistemleri
- Acil iletişim sistemleri
- Telekomünikasyon sistemleri
- Tekneler, deniz uygulamaları
- Askeri uygulamalar

Güneş enerjisinin kullanıldığı başlıca örnekler olarak sıralanabilir.

2.9 Türkiye'deki Güneş Pili Uygulamaları

Ülkemizde;

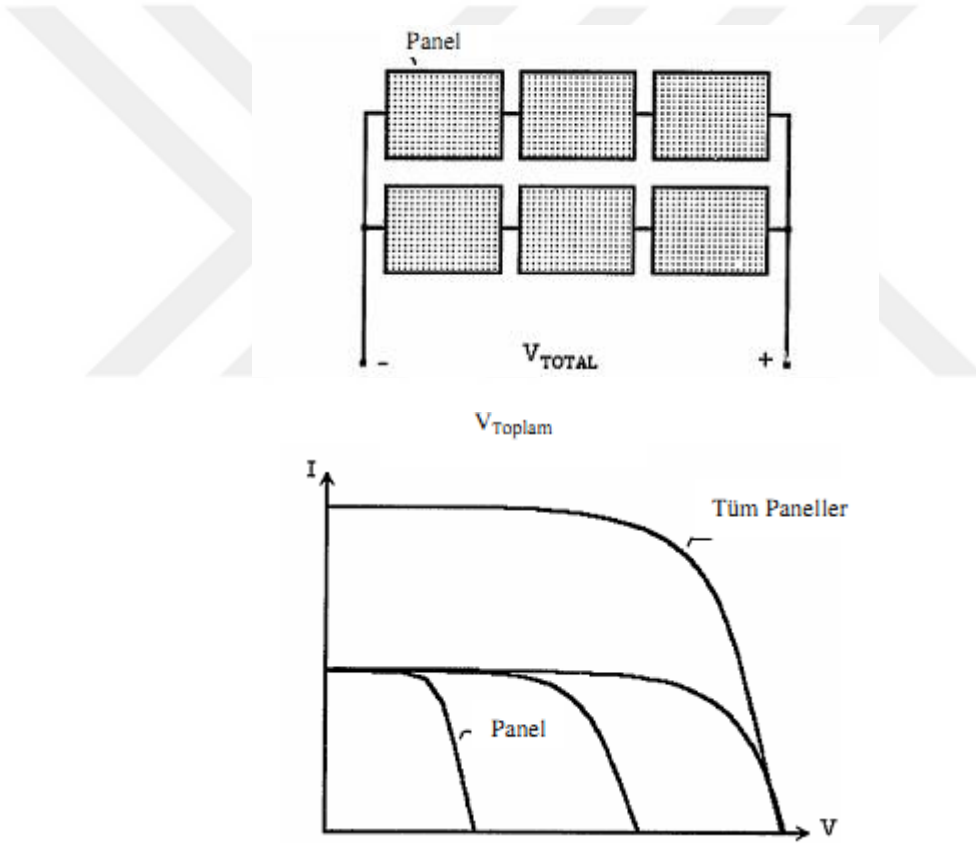
- Orman bakanlığına ait gözetleme kuleleri
- Baz istasyonları
- Yollardaki imdat telefonları
- Yol Aydınlatmaları
- Otopark çatıları üzeri

- Şebeke bağlantısı zor olan tarım arazilerin sulama pompa sistemleri
- Şebeke bağlantısı zor olan müstakil evler
- Fabrika çatıları
- Güneş tarlaları

olarak örnekler verilebilir.

2.10 Fotovoltaik Güneş Panellerinin Elektriksel Karakteristikleri

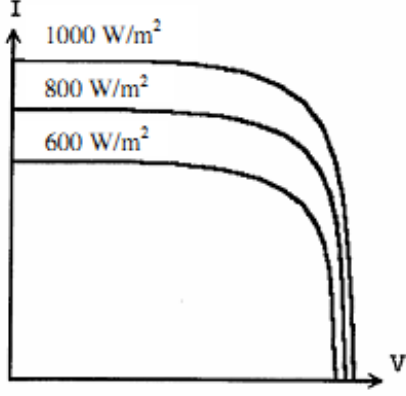
Güneş panelleri doğru akım ürettiklerinden panellerin paralel ya da seri bağlanması ile oluşacak akım ve gerilim seviyeleri değiştirilebilir. Şekil 2.6’te paralel ve seri bağlanmış bir panel grubuna ait I- V karakteristiği belirtilmiştir.



Şekil 2.6 Panel gruplarına ait I-V karakteristiği

Güneş panelleri bir noktaya kadar akım kaynağı olarak davranırlar. Belirli bir noktadan sonra ise gerilim kaynağı olarak davranırlar. Kısa devre edildiğinde bile alınabilecek akım değeri sabittir. Bu tüm değerler panel üzerindeki etiket değerinde yazmaktadır.

Temel olarak güneş panellerinin elektrik karakteristiğini etkileyen 2 ana faktör bulunmaktadır. Güneşten gelen ışınım ve sıcaklıktır. Şekil 2.7’de ışınımın I- V karakteristiği üzerine etkileri gösterilmiştir.



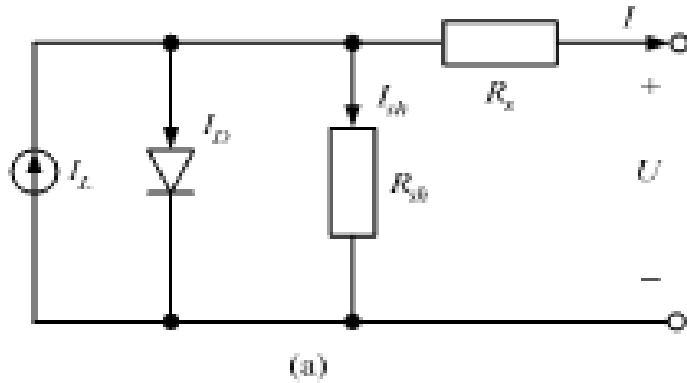
Şekil 2.7 Işınımın I-V karakteristiğine etkisi

2.11 Fotovoltaik Güneş Pillerinin Elektriksel Modelleri

Fotovoltaik güneş pilleri, fiziksel konumları göz ardı edilerek elektriksel eşdeğer devreler ile modellenebilirler.

2.12 Basitleştirilmiş Model

Fotovoltaik güneş pillerinin en sade elektriksel modeli, Şekil 2.8’te gösterilen basitleştirilmiş model ile ifade edilmiştir. Bazı ihmaller yapıldığın, basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer modeli, bir akım kaynağı ve bir diyottan oluşur.



Şekil 2.8 Güneş pili basit bir eşdeğer devresi

Model üzerinde akım kaynağı (I_L) foton akımını ifade etmektedir ve bu akım güneş ışınım ile doğru orantılıdır. Güneş panelini oluşturan yarı iletken yapıyı (p-n arakesit) ise en basit hali ile bir diyot ile modellenmiştir .

Kirchhoff akım yasası ile devre çözümlenirse,

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{U + IR_s}{\alpha}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklemde I_L foton akımını, I_0 doyum akımını, I yük akımını, U çıkış gerilimini, R_s seri bağlı direnci, α ise ısıl gerilim katsayısını ifade etmektedir.

I-V karakteristiğın çıkarılması için yukarıdaki formülde belirtilen 4 parametrenin (I_L , I_0 , R_s ve α) bilinmesi gerekir.

2.12.1 I_L 'nin Hesaplanması

$$I_L = \frac{\phi}{\phi_{ref}} x \left[I_{L,ref} + \mu_{1,SC} (T_c - T_{c,ref}) \right] \quad (2.2)$$

Bu denklemde ϕ güneş ışınımını, ϕ_{ref} referans ışınımını, (bu çalışmada 1000 W/m^2 olarak alınmıştır.) $I_{L,ref}$ 1000 W/m^2 ve 25 C 'deki foton akımını, T_c PV hücre sıcaklığını (C), $T_{c,ref}$ referans sıcaklığını (bu çalışmada 25 C alınmıştır.) $\mu_{1,ref}$ ise akıma bağlı sıcaklık katsayısını ifade etmektedir. $I_{L,ref}$ ve $\mu_{1,ref}$ PV üreticisinin katalogundan elde edilebilir.

2.12.2 I_0 'ın Hesaplanması

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T_{c,ref} + 273}{T_c + 273} \right)^3 \exp \left[\frac{e_{gap} N_s}{q a_{ref}} \left(1 - \frac{T_{c,ref} + 273}{T_c + 273} \right) \right] \quad (2.3)$$

Yukarıda belirtilen denklemde, $I_{0,ref}$ referans doyum akımı (A), e_{gap} (Si materyali için 1.17 eV alınmıştır.), N_s PV modüle bağlı seri direnç sayısı, $q=1.60217733 \times 10^{-19} \text{ C}$, α_{ref} referans ısıl gerilim katsayısını belirtir.

$I_{0,ref}$ indisini aşağıdaki denklemden elde edilir;

$$I_{0,ref} = I_{L,ref} \exp\left(-\frac{U_{c,ref}}{a_{ref}}\right) \quad (2.4)$$

Bu denklemde $U_{c,ref}$ PV modüle ait açık devre gerilimini ifade etmektedir(V). Bu değer PV üreticisinin katalogundan bakılabilir.

2.12.3 α Katsayısının Hesaplanması

$$a_{ref} = \frac{2U_{mp,ref} - U_{ac,ref}}{\frac{I_{sc,ref}}{I_{sc,ref} - I_{mp,ref}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mp,ref}}{I_{sc,ref}}\right)} \quad (2.5)$$

$U_{mp,ref}$ referans noktadaki maksimum güç noktası gerilimi, $I_{mp,ref}$ referans noktadaki maksimum güç noktası akımı(A), $I_{sc,ref}$ referans noktadaki kısa devre akımıdır(A).

α katsayısı sıcaklığa bağlı bir değer olmakla beraber aşağıdaki eşitlikten elde edilir;

$$a = \frac{T_c + 273}{T_{c,ref} + 273} a_{ref} \quad (2.6)$$

2.12.4 R_s Direncinin Hesaplanması

$$R_s = \frac{a_{ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mp,ref}}{I_{sc,ref}}\right) + U_{ac,ref} - U_{mp,ref}}{I_{mp,ref}} \quad (2.7)$$

Yukarıdaki denklemden R_s kolaylıkla bulunabilir.

2.12.5 T_c Panel Sıcaklığının Hesaplanması

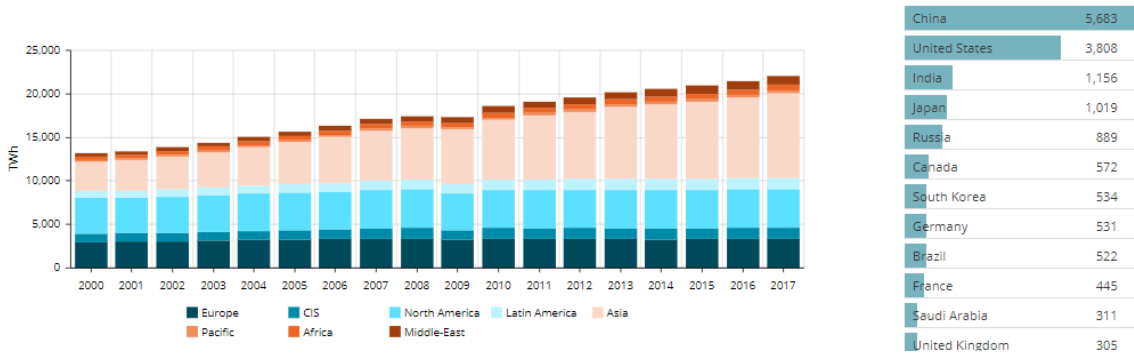
$$T_c = T_a + \left(\frac{T_{nom} - 20}{0.87}\right) x G \quad (2.8)$$

Panel sıcaklığını hesapladığımız yukarıdaki eşitlikte, T_a ortam sıcaklığı (°C), T_{nom} hücrenin nominal çalışma sıcaklığı (°C), G ise ışınımı belirtir.

BÖLÜM 3

AKILLI ŞEBEKELER

Elektrik şebekelerinin tarihi 1800'lü yılların sonlarına dayanmaktadır ve teknolojinin de gelişmesiyle son yıllarda önemli bir gelişme göstermektedir. Yılların vermiş olduğu tecrübeleri de göz önünde bulundurduğumuzda her ne kadar çok stabil çalışan elektrik şebekeleri son yıllarda artan talepler doğrultusunda kapasite değerlerinin üzerinde çalışmaktadır. Amerika'da hükümet tarafından yapılan araştırmalara göre dünyanın enerji tüketimi 2005-2030 arası %50 artacaktır.



Şekil 3.1 Yıllara göre ülkelerin elektrik tüketim grafiği

Yukarıda gösterilen tabloda ise 2000-2017 yıllar arasında Dünya'nın tükettiği enerji 12.000 TWh'ten yaklaşık 22.000 TWh'e ulaşmıştır. 2017 yılında en çok elektrik tüketen ülkeler 5.683 TWh ile Çin olmuştur. Ülkemiz 2017 yılı itibariyle 295 TWh elektrik tüketimi gerçekleştirmiştir.

Sürekli artan enerji ihtiyacından dolayı konvansiyonel elektrik üretim sistemiyle devam edilecek ise çok ciddi bir şekilde santral ve enerji iletim maliyetleri ortaya çıkacaktır. Bu

ilave maliyetleri olabildiğince düşük tutabilmek adına artık şebekeler bilgisayar destekli ve dijital olarak son teknolojiye uygun bir şekilde tasarlanmalıdır.

Bütün elektrik şebekesini vücudumuzda bulunan sinir ağ sistemi gibi saracak olan akıllı şebekeler, tüm bağlantı noktalarında arızayı önceden tespit eden, adaptif, ekonomik, çevreye uygun, esnek, tüm sistemlerle uyumlu çalışabilen bir şebeke sisteminin oluşturulması sağlanacaktır. Son yıllarda gelişen yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim oranlarının artmasıyla bu kaynaklarının üretim miktarlarının önceden tahmin edilememesi ve anlık olarak değişme olasılığının bulunması serbest piyasa da enerji fiyatlarının anlık değişmeler yaşanıldığından dolayı akıllı şebekelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu vasıta ile öncelikle üretim tarafında tevzilenemeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke üzerinde oluşabilecek zararlı etkilerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Diğer bir yandan CO₂ salınımı dünyamız için çok büyük tehlike arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeyle uyumlu verimli bir şekilde kullanılmasıyla salınım ciddi bir şekilde azalmış olacağından, çevreci bir teknoloji olarak tanımlayabiliriz. Amerika da yapılan çalışmalar bize gösteriyorki karbon emisyonlarının %25 oranında aşağıya çektiği sonuca verilmiştir. CO₂ tarafından baktığımızda ise 160 milyon hektar ormanın daha temiz bir şekilde doğaya oksijen verebilecektir. Bu da yaklaşık olarak 130 milyon aracın egzozlarından çıkan zehirli gazlara eş değerdir. Akıllı şebeke tek yönlü iletimden yana çok farklı sistemlere de uyumlu olduğundan avantajları çok fazladır. Yeni teknolojilerle beraber dijitalleşen şebekeler, üretim noktasından son tüketici arasında çift yönlü bilgi alışverişi sağlar ve tüm hattı anlık olarak izleyerek olası bir arızada çok hızlı cevap vermektedir. Akıllı şebekelerin diğer bileşenlerini sırayacak olursak :

- Akıllı Üretim
- Akıllı Santraller
- Akıllı Dağıtım
- Akıllı Sayaçlar
- Bütünleştirilmiş Haberleşme

- Akıllı kontrol merkezleri ve ileri kontrol teknolojileri olarak sıralanabilir.

3.1 Akıllı Şebekelerin Tarihçesi

Şebeke anlam olarak birbirleriyle entegre olan yapılardan oluşmaktadır. Akıllı olarak tanımlanmasındaki sebep üretimden tüketime kadar olan süreçteki dijital bir şekilde sistemi sorunsuz devam etmesidir. Thomas Edison 1882 yılında New York'ta ilk elektrik şebekesini kurmuştur. Şebekelerin artmasıyla beraber Samuel Insult kararlılık ve güç kalitesi alanında çalışmış ve frekans ve gerilim kararlılığını sağlamıştır. Bu iki önemli parametre sürekli değişken bir talebin kararlı ve kesintisiz bir şekilde çalışmasını sağlar. Ancak akım ve gerilim dalgalanmaları tüketim noktasındaki sabit olmayan güç taleplerinden dolayı bozulmalar ve kayıplar çok fazladır. Bu durumu farkedip değiştiren günümüze kadar elektriği güvenli bir şekilde bize ulaşmasında en büyük katkı Nicola Tesla tarafından sağlanmıştır. Bu süre zarfı boyunca kararsızlık, sürekliliği korumak ve üretim tüketim dengesini sağlayabilmek her zaman problem olmuştur. Bu noktada akıllı şebekelerin kontrol algoritmaları vasıtasıyla sorunlar daha kolay çözüme ulaşacaktır.

3.1.2 Akıllı Şebekenin Kavramı ve Oluşum Süreci

Enerji ihtiyacı günden güne nüfus değişimlerine bağlı olarak artmakta ve 2050'lerden sonra tükenmesi hesaplanan fosil yakıtlar ile çok farklı bir seviyeye ulaşacaktır. Artış ve sonlu fosil yakıt kaynakları üretim problemlerini oluşturacaktır. Diğer bir yandan teknolojik gelişmeler güç kalitesinin önemünü arttıracak ayrıca kaynakların verimli kullanılması, kayıp enerjilerin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil edilmesiyle tekrardan şebekeler kendini yenileyecekler ve sorunlara çözümler aranacaktır. İşte tam da bu noktada sorunlara çözüm bulabilmek adına devreye giren akıllı şebekeler, akıllı üretim, santral, iletim, dağıtım ve tüketimdeki enerji sürekliliği, güç kalitesi, minimum enerji kaybı ve enerji talep yönetimi ile devreye girmektedir. Hala enerji üretiminin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanmakta ve çok büyük enerji santralleri yatırımları yapılmaktadır. Çevreye salınan zehirli gazları da göz önünde bulundurduğumuzda insanlık olarak kendi geleceğimizi ve

yaşam alanlarımızı kısıtlamış bulunmaktayız. Akıllı şebekeler alternatif enerji kaynaklarıyla çok kolay uyum sağlayabilmesi bu konuda avantaj sağlamaktadır.

“Güç sistemleri konusunda başarılı sonuçların ortaya çıkması, bu sistemlerin gittikçe karmaşıklaşan şartlar altında, yeni sistemlerin geliştirilmesi ile sağlanacak. Haberleşme, bilgi teknolojileri, kontrol sistemleri gibi çalışmalar, elektrik şebekelerini daha verimli, güvenilir, yönetilebilir hale getirecek, ek olarak bireyin gündelik ihtiyacında enerjiye olan talebinin artması, bu paralelde dünya nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler, tükenen fosil yakıtlar ile alternatif enerji kaynaklarını doğuracak ve akıllı şebeke teknolojisini doğuracaktır[11].”

Bütün bu sorunlar göz önünde bulundurulduğunda mikroşebekeler konvansiyonel şebekelerden bağımsız olarak ortaya çıkmış olup kolay kurulum ve kontrol edilebilir olması nedeniyle iletim hatlarındaki optimum seviyede güç akışını sağlayabilmektedir.

3.2 Akıllı Şebekeler ile Dağıtık Enerji Kaynakları

Akıllı şebekeler, dağıtık enerji sistemleri ile entegre bir şekilde çalışabilirler. Dağıtık enerji sistemlerini kojenerasyon ya da trijenerasyon sistemi olarakta bilinen içten yanmalı motorlar ve gaz türbinleri, mikro türbinler, hidrojen ile çalışan yakıt hücreleri, hidroelektrik santraller, jeotermal, biomass, gel-git dalga enerji üretim tesisleri, rüzgar türbinleri veya fotovoltaik sistemlerden oluşabilir.

Bu sistemlerden açığa çıkan enerjiler volanlar, ultra kapasitörler, manyetik kapasitörler veya hidrojen tankları ile depolanabilir.

3.3 Akıllı Şebekelerin Amaçları

- Dijital bilgilerin ve sistem korumaların öneminden dolayı daha fazla yer alması.
- Şebeke operasyonlarının maksimum faydasının sağlanması ve siber güvenlik önlemlerinin alınması.
- Dağıtık enerji sistemlerinin yaygınlaştırılması ve alternatif enerji kaynaklarının enterkonnekte şebekelerde daha fazla yer alması.
- Tüketici taleplerinin temiz enerji kaynaklarından karşılanmasını sağlamak.

- Akıllı evlerin ve akıllı cihazların sistemle haberleşmesini sağlamak.
- Depolama ve günün en yoğun enerji talebi olduğu saatlerde algoritmaları sayesinde şebekeyi optimize etmek.
- Elektrik araçların yaygınlaşmasını sağlamak.

3.3.1 Akıllı Şebekelerde Olması Gereken Özellikler

Kendini iyileştirme: Şebekedeki elektrik bozukluklarını hızlı bir şekilde denetler ve cevaplar, oluşabilecek aksaklıkları nihai tüketiciye minimum etki edecek şekilde yansıtır.

İletişim: Tüketici ve şebeke arasında haberleşmeyi sağlar. İki yönlü enerji ve bilgi akışı sağlanır.

Güvenlik: Şebekedeki güvenliğin sağlanması şebekedeki bozuklukları ve yükümlülükleri hafifletir. Akıllı şebeke siber ve fiziksel saldırılara karşı hemen cevap verir. İnsan kaynaklı hataları, doğal felaketleri, koruma hatalarını, güvenlik hatalarını ve açıklarını hızlıca belirler.

Optimizasyon: Kullanılan varlıkların geliştirilmesi, yapılan işlemlerde ve bakım maliyetlerinde etkin bir azalma sağlanır.

Uyumluluk: Merkezi elektrik üretimi, dağıtık elektrik üretimi, enerji depolama birimlerinden oluşan şebekenin uyumlu çalışmasının sağlanması.

Entegrasyon: Süreç optimizasyonu, bilgi teknolojisinin şebekeye entegrasyonu, sistemde iyileştirme ve sistem yönetiminin standartlaşması

3.3.2 Akıllı Şebelerin Avantajları

- Tüketiciye daha fazla avantaj sağlar.
- Üreticiyi üretimi ve büyüyen ekonomiye destek olur.
- Koruma algoritmaları sayesinde çok daha güvenlidir ve esnektir.
- Otomatik olarak arıza tespiti yapabilir.
- Sistemin uzun yıllar güvenli bir şekilde kullanılacağından tasarruf sağlar
- Alternatif enerji kaynaklarının entegrasyonu ile çevrecidir.
- Optimal güç yönetimi ile iletim kayıpları azdır.

- Gerilim ve frekans regülasyonu vardır.
- Çevreci olduğundan karbondioksit salınımı azdır.
- Elektrik üretim şirketleri için alternative bir seçenektir.
- Kesintisiz ve yüksek kalitede güç akışı sağlanır.

3.4 Türkiye’de ve Dünya’da Akıllı Şebeke Uygulamaları

Türkiye’nin altyapılarında yeni başladığı bu dönüşüm, özellikle Amerika da önemli derece de ilerleme katetmişlerdir. Yenilenebilir enerji sistemi entegrasyonu ile bağlantısı ve azalan maliyetler bu konuda en önemli etkenlerdir. Elektrik araçların kullanım oranlarının artması ile daha önceden hiç hesaplanmayan ciddi bir elektrik yükü de şebekelere eklenecektir. Bu da ilave altyapı maliyetlerine ya da mevcut altyapıyı daha verimli bir şekilde kullanımını söz konusu olmuştur. Akıllı şebekeler ile ilgili aşağıdaki yol haritası izlenmesi planlanmıştır.

1. İlgili uzmanlardan görüşler topla
2. Uzun vadeli hedefleri tanımla
3. Sınır değerlerini belirle
4. İlk 5 senelik alt yapıyı kur
5. Yol haritasını belirle
6. Kurulum işlemlerini ilk 10 sene içerisinde başla
7. Kurulum aşamasında ve devreye alma aşamasında tekrardan uzman görüşünü al

Türkiyenin piyasaya bakış açısı ve pazar ile ilgili raporu ise şu şekildedir. Güç sistemlerine önemli bir derecede araştırma ve geliştirme söz konusudur. Elektronik komponent üretimi söz konusudur. Ayrıca güneş panel üretimleri ile ilgili üniversitelerde ciddi bir çalışma vardır. Öncelik olarak linyit kaynaklarımız ve nükleer enerji santrallere önem verilmiş olup bununla birlikte alternative enerji kaynağı olarak güneş ve rüzgar santrallerin ihaleleri yapılmış olup aynı zamanda gelişim sağlanmaktadır. Bu sistemlerin akıllı şebekeler ile entegrasyonu ve elektrikli araçlar meselesinde herhangi bir detaylı yol haritası beklenmektedir. Bu konularda gerekli yatırımların bir an önce yapılması gereklidir. Elektrik tasarrufu konusunda hala istenilen seviyelere ulaşabilmiş değiliz.

Örneğin çoğu ülkelerde enkandesan lambaların satımı yasaklanmış, tüm kamu kurumlarında LED lambaların değiştirilmesiyle ilgili çalışmalar yapılmaktadır. En kısa zamanda eksik olan konularla ilgili gerekli yatırımların ve teşviklerin verilmesi akıllı şebekeler, elektrikli araçlar gibi dünyanın araştırmalarını geliştirdiği konularda biz de bulunmalıyız[13].

3.5 Akıllı Şebekeler Politikaları

Akıllı şebekeler ile politikalar aşağıda özetlenmiştir.

“Türkiye de Enerji Bakanlığının 20 / 02 / 2012 tarihlerde yayınlamış olduğu 2012-2023 enerji strateji belgesine göre akıllı şebeke altyapı çalışmalarına başlaması öngörülmüştür. Bu kapsamda elektrik enerjisi ve doğal gazda yıllık talep belirlenerek, elektrik enerjisinde depolama, akıllı şebekeler gibi teknolojik gelişmeler, mevcut elektrik enerjisi ve doğal gaz yatırımlarının hayata geçirilmesi, akıllı şebeke uygulamalarının kademeli olarak yaygınlaştırılması çalışmalarına başlanacaktır. Mikroşebekeler akıllı şebeke yapıları içerisinde yer alan şebekelerdir[12].”

“Türkiye Elektrik İşleri Etüt İdaresinin tanımına göre “mikroşebekeler bağımsız olarak kontrol edilen, dağıtık üretimle birlikte güç sağlayan elektrik şebekeleridir.”.

A.B.D Enerji Bakanlığına göre “açık bir şekilde belirlenmiş elektriksel sınırlar içinde birbirine bağlı bir grup yükler ve dağıtılmış enerji kaynakları (DEK) ile şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız veya her iki bağlantıya da olanak sağlayan enerji üretim sistemi” olarak tanımlamıştır. IEC tarafından mikro şebekeler “yüklerin ve jeneratörlerin belli bir coğrafi yakınlıkta bulunduğu şebekeler” olarak ifade edilmiştir. Mikroşebeke Enstitüsü mart 2014 yılında, mikroşebekeleri “belirli sınırlar içinde sürekli hizmet sağlamak için kısıtlı arz ve talebi dengeleme yeteneğine sahip küçük enerji sistemleri” olarak incelemiştir.

TR nin 2012 genelgesine göre Akıllı Şebekeler yatırımlarına kademeli olarak 2012-2023 yılları arası başlanması ve yaygınlaştırılması, ön görülmüştür. İTÜ, YTÜ gibi üniversitelerde 2012'den sonra bu konuda “ışık saçan” ciddi çalışmalar,yapılsa dahi, TR belirlediği adımları atmakta ve kademeli şebeke dönüşümü çalışmaları konusunda geç ve eksik kalmıştır. ABD de ise yıl 2008-2009 gibi fiili çalışmalara başlanmış ve zaten üzerinde ciddi çalışmalar yürütülen alternatif enerji kaynakları ile alt yapı çalışmalarına

başlanmış,şu an 2 eyaletinde fiili olarak alternatif enerji ile dengelenip beslenen akıllı şebeke alt yapısı kullanılmakta olup,aynı şebeke ile enterkonnekte biçimde çalışan Arizona Valley’de dev 100 dönümlük bir Güneş Paneli çiftliği bulunmakta olup,enerji istasyonlarının kurulumu ile birlikte 2012 de ilk elektrikli aracını üreten TESLA’nın önünde şu an halk elektrikli araç almak için kuyruktadır.

Ülkemizde ciddi adımların hemen atılmaya başlanması, 2012 genelgesinde belirtilen doğalgaz ve diğer enerji sistemlerine bağımlılığın azaltılması açısından önemli yer teşkil ederken.2016 da Kırşehir mevkinde yer alan bir dönümlük Rüzgar çiftliği kurulumu ilk ve başlangıç olarak önemli bir adım teşkil edilmekte olup,bu konuda halen faal çalışmalar yürüten üniversitelerin ARGE leri ile danışmanlık hizmeti çerçevesinde,ciddi stratejiler geliştirilmeli ve gereken adımlar atılmalıdır[13].

3.6 Türkiyede Bazı Akıllı Şebeke Uygulamaları

Dumlupınar Üniversitesinde şebekeye entegre ve şebekeden ayrı olarak hibrit elektrik sistemleri incelenmiş ve konu ile ilgili rüzvar ve güneş enerjisine bağlı olarak bazı ölçümler yapılmıştır. On adet 1-10 kW arası şebekeden bağımsız olarak, 15-45 kW olarakta 6 adet şebeke ile bağlı olmak üzer 16 adet senaryo hazırlanmıştır [13].

Güneş enerjisine bağlı başka bir çalışmada Dicle Üniversitesinde, fakültenin otopark alanının aydınlatılması için, güneş panellerinden oluşan bir düzenek kurulmuştur. Gereken ölçümler, sağlanan değerlerle karşılatılmış, fotovoltaiik pillerin ölçümleri anlık olarak tekrarlanmış ve gereken değerleri sağladığı sunulmuştur [13].

Muğla Üniversitesinde, 54 kW Gücünde fotovoltaiik sistem şebekeye bağlı şekilde kullanılmış ve Mühendislik Fakültesinin Kütüphanesinin, aydınlatılmasında uygulanmış. Söz konusu proje sonrası, fotovoltaiik uygulamalar bölgede yer bulmuş ve proje çalışması sonunda fotovoltaiik uygulamalara dayalı birçok araştırmaya yön vermiştir [13].

Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde fotovoltaiik paneller kurularak, güneş enerjisinden, elektrik enerjisi üretilmiş. Güneş panelleri ve rüzgar türbinleri entegre olarak çalıştırılmış. 130W gücünde toplamda 780W değerinde 6 adet güneş paneli ve 300W gücünde bir rüzgar türbini ile proje gerçekleştirilmiş.Gerçeklenen düzenekte

sağlanan enerji bataryalarla depo edilip, DC/AC d6n6şt6r6c6den ge7irilip, elde edilen alternatif akım, bir akademisyenimizin odasında kullanılmıştır[13].

2012 7alışmalarına başlanan ve b6y6k bir b6t7e ile ger7eklenen YTU'da bir Akıllı Ev modeli ger7eklenmiş ve tamamlanmıştır. Bu g6n ziyaret7ilerine a7ık durumdadır. Son olarak onu inceleyeceğiz. 2012 senesinde YTU'da hem şebeke, hem ada modunda 7alışan, ada modundayken, kurulan r6zgar ve g6neş panellerinden g67 alan, i7inde buzdolabı, 7amaşır makinesi, taşınabilir bilgisayar, şarj edilebilir bir ak6 ve yine evdeki 7ekilen akımla beslenen bir elektrikli ara7 bulunan bir akıllı ev tasarlanmış ve bu evdeki, g67 7eken aletler, şarj durumuna g6re şarj 6l76m6ne tabi tutulurken, start&stop mantığı otonom bir yazılımla, sağlanmış, şebeke ve ada modu, sabah, 6đle, akşam, akşam-gece, olmak 6zere bir senaryoya g6re d6zenlenmiştir. şu an halen faal olan bu ev, ziyaret7ilerine a7ıktır [13].

GÜNEŞ SANTRALLERİ ile ŞEBEKE ENTEGRASYONU

4.1 AG Seviyesinde GES Bağlantıları

Türkiye’de genel olarak AG dağıtım şebekesi radyal yapıda bulunmaktadır. Avrupanın bazı noktalarında ring bağlantı noktaları bulunmakta olup, Türkiye’de OG seviyesinde bu sistem kullanılmaktadır. AG şebekesi yer altı ve havai hat olmak üzere ikiye ayrılabilir. Şehir merkezlerinde AG havai hatları yapılan yatırımlarla büyük bir oranda yer altına alınmıştır ve alınmaya da devam etmektedir. Ancak kırsal bölümlerde büyük bir kısım havai hat olarak devam etmektedir. Genel olarak her bir fider tek transformatörden beslenir ve transformatörün gücüne göre bu fider adetleri değişebilir.

4.2 GES Koruma Sistemleri

Elektrik sistemlerinde koruma çok önem arz etmektedir. Elektrik üretim noktasından başlayan generatör, transformatör, kablo ve son olarakta elektrikli cihaza kadar olan elektrik hattının bu fazların herhangi bir noktasındaki oluşabilecek kısa devre, aşırı akım, izolasyon hataları gibi arızalardan sistemleri korumak amacıyla oluşturulan koruma sistemleri şebeke can ve mal güvenliği açısından birincil noktadadır. Bu noktadaki tasarlanan koruma sistemleri arızayı en kısa sürede izole edip şebeke güvenliğini ve şebekedeki kararlılığın devamını sağlamaya yaramaktadır[15].

Yukarıda bahsedilen konuların üretim ve tüketim tesislerinde farklı yorumlar gerçekleştirilir. GES koruma sistemlerini 2 ana başlıkta toplayabiliriz.

- Arayüz koruması
- Generatör koruması

4.2.1 İrtibat Sistemleri

Dağıtım sistemi operasyon sorumluları, kendi şebekelerine bağlanacak güneş enerji santrallerinin güvenli bir şekilde ve şebeke ile entegre bir koruma sistemlerine gereksinim duymaktadırlar. Ancak bu koruma sistemlerinin ne şekilde olacağı konusunda hem Dünya da hem de Türkiye de tartışmalar devam etmektedir. Koruma sisteminden önce bağlantı noktalarının görevlerini belirlemek daha doğrudur. Santral irtibat sistemi şu işlemlere sahip olması beklenir.

- Elektriksel Koruma: Güneş santrallerinin olağan dışı koşullarda ya da adalanmaya karşı olan tepkisi
- Güç Kalitesi: Üretilen DC akımların, AC sistemine dönüştürülmesi sırasındaki harmonik bozulmalar
- Genel Beklentiler: Senkronizasyon, iletim, ölçme, izleme, açma, kapama, gerilim, frekans, topraklama ve yıldırımdan korunma

Arayüz sistemlerinin elektriksel koruma fonksiyonları güncel teknoloji ve pratiklik vasıtasıyla etkin bir şekilde karşılanabilir. Bu noktadaki problem tek bir sistemde ama farklı güç kombinasyonlarındaki ne şekilde işlevlendirebilmesidir. Bu bağlamda dağıtım şebekesi bağlantıları ve koruma sistemleri incelenmiştir. Koruma arayüz sistemleri de dizayn edilirken güç kalitesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Türkiye de lisanssız üretim yönetmeliği yayınlanıncaya kadar AG seviyesinden bağlantı yok denecek kadar az miktarda kurulum yapılmıştır. Dünyadaki eğilim ise birçok dağıtım kuruluşlarının kendi bağlantı kriterlerini oluşturmasıdır. Yasal prosedürlerin yanı sıra, dağıtım enerji sistemlerinin de bağlantı koşulları ile ilgili birçok uluslararası standartlar ve yönetmelikler mevcuttur. Ancak bu seviyede çok fazla sayıda çeşidin bulunması nedeniyle ortak bir noktada buluşmak gerçekten zordur. Aynı santral tipi bile

kullanıldığında farklı bağlantı tipi ya da farklı markalar bile koruma fonksiyonlarının uygun seviyede çalışmamasına sebep olmaktadır. Güneş enerji santrallerinin sayısı ve güçlerindeki artış nedeniyle bağlantı koşulları standartlaşmaya çalışılmaktadır.

Türkiye de yasal kolaylık nedeniyle kurulu gücü 1 MW ve altı olan güneş enerji santralleri oldukça yaygın olduğundan bu bağlantı seviyesindeki üretim tesisleri incelenecektir. Daha yüksek güçte santral kurulumu olduğunda ise bağlantı iletim hattı seviyesinden bağlanacak olup elektriksel koruma dışında arıza sırtlama desteği, aktif reaktif güç kontrolü ve dinamik şebeke desteği gibi ek konularda kullanılacaktır. Dağıtım seviyesinde bağlanacak santrallerde bu özellikler aranmayabilir. İletim ve dağıtım seviyesinden bağlanacak olan güneş santrallerinin koruma fonksiyonlarını ayrı değerlendirmek gerekir[15].

4.2.2 Teknik Hizmetler

Arayüz korumasının önemi, güneş enerji santrallerinin şebeke ile beraber güvenli bir şekilde paralel çalışmasını sağlar. Genellikle dağıtım kuruluşları tüm ortak bağlantı noktasında arayüz koruma sistemini talep ederler. Bağlantı noktası genellikle PCC yani point of common coupling olarak adlandırılabilir. Ve bu bağlantı koruma bölgelerinin sınırlarını belirler. Dağıtım hattının güvenliğini ya da sistemi bozacak herhangi bir olayda santralin şebeke ile bağlantısının kesilmesi, adalanma moduna geçmesi ya da şebekeye tersten enerji verme tehlikesinin olmamasını garanti etmelidir. Arayüz koruması küçük ve orta güçlü santrallerde zorunludur. Ancak mikro seviyesindeki güçlerde invertör içerisindeki koruma fonksiyonları da kabul edilebilir. Basitçe 11 kW ve altı AG bağlantılar için invertör içerisindeki koruma fonksiyonları kabul edilmekte olup, 1 MW güce kadar olan kısımda ise harici koruma arayüz sistemi talep edilebilmektedir. Yeni çıkan invertörlerde 50 kW güce kadar olanlarda invertör içindeki koruma fonksiyonları bazı yerel dağıtım şirketlerinde kabul edilme olasılığı yüksektir. Dahili koruma fonksiyonlarını kullanmak genellikle küçük güçlü çatı üzeri uygulamaların maliyetlerini azaltacağından bu pazarın gelişmesine katkı sağlanabilecektir.

AG seviyesinden bağlanan küçük ve orta ölçekteki güneş santrallerinin koruma sağlanabilmesi için ister harici ya da dahili olmak üzere tüm bu korumaların gerçekleştirildiğini üretici tarafından ilgili standartları karşıladığını sertifikalandırması esastır.

Ayrıca şebekeye bağlı çalışan PV santrallerinde şebeke tarafında gerilim olmadığı tarafında invertörlerin şebeke tarafına herhangi bir ters besleme yapmayacağını test raporlarıyla ispatlaması ve bu sorumluluğu kabul etmesi gerektir. Ayrıca şebeke kaybı algılama, kısa devre durumunda şebekeyi arıza akımlarından koruma ve şebeke de gerilim tekrardan geldiğinde sisteme entegre olması sırasındaki varsa bir faz kaymasının algılanması beklenir. Bu koruma fonksiyonlarını yerine getirebilmek için koruma cihazının kısa devre, aşırı akım, düşük gerilim, aşırı gerilim, düşük frekans, yüksek frekans gibi konuları izleyip koruması beklenir. Santral tipi, gücü ve bağlantı noktasındaki gerilim seviyesin, şebeke tipi ve trafo özelliğine göre arayüz koruma sistemlerindeki ayarlar değişebilir. Lisansız santrallerde koruma taleplerini dağıtım şirketleri, yönetmelikler ve uluslar arası standartları inceleyerek belirlemektedir. Bu korumalar 2 yöntemle gerçekleştirilir.

- Harici röleler
- Invertör içerisindeki elektronik donanımlar

Röle koruma özelliğine göre her koruma tipinin bir ANSI kodu bulunmaktadır. Genel olarak tüm güneş santrallerinde düşük gerilim (Ansi-27), aşırı gerilim(Ansi-59), düşük frekans (Ansi-81u) ve yüksek frekans (Ansi-81o) hemen hemen tüm dünya da zorunlu hale gelmiştir. Bu fonksiyonlar küçük güçteki santraller için invertör tarafından karşılanabilir.

Invertörlerin içerisinde gömülü olarak aşırı akım korumaları (Ansi-50/51) bulunmasına rağmen her zaman ayrı bir sigorta ve kesiciler ile yapılır. Bazı dağıtım kuruluşları toprak arızalarını da temizleyen Ansi-50/51N koruma fonksiyonlarını da talep edebilirler. Ülkemizde ise can ve yangın güvenliğini sağlamak üzere artık akım anahtarı zorunludur. Bu durum yüksek güçlü santraller tarafında bakıldığında bağlı olduğu hat otoprodüktör fideri olması da talep edilebilir. Kısaca özetlersek otoprodüktör fideri, üretim santrallerin şebeke entegrasyonu bağlantı noktasındaki iki tarafında güvenliğini sağlamak için kurulan ve ilave koruma fonksiyonları barındırdığı bir fiderdir. İlave kilitlenebilir hat anahtarı ve harici koruma röleleri istenebilir. Mevcut şebeke de kısa devre arıza akımı tek yönlü izlenebildiğinde çift yönlü arıza akımı tespiti yapan rölelerde eklenebilir[15].

4.3 Şebekenin GES'ten korunması

Güneş santrallerinin şebekede oluşan kısa develerin ekipmanlara zarar vermesinin önüne geçmek için ilave tedbirler alınmalıdır. Bazı kısa devreler anlık olarak gerçekleştiğinden sistemin devreyeden çıkıp tekrardan girimesi ile ilgili koşullarda önlem alınması gereklidir. Güneş santrallerinin şebeke tarafındaki arıza akımının çok büyük olmamasından dolayı kısa devre akımları en fazla 1.5 katına kadar çıkabilmektedir. Bu değerde kısa devre korumasını devreye sokmaya yetmemekte ve cihazların zarar görebilme ihtimalini arttırabilmektedir. Kısa devre hesaplarını iyi hesaplayıp röle ayarlarını ona göre yapmak gerekir[15].

4.3.1 Senkronizasyon

Şebeke bağlantılı PV santrallerinde kullanılan invertörlerin içerisinde referans sinyali olmadığından ve şebeke gerilimi olmadan çalışmadığından herhangi bir ilave senkronizasyon koruma özelliği rölelerde aranmaz.

4.3.2 Topraklama

Topraklama insan hayatı ve mal güvenliği açısından çok önemlidir. AG sistemlerinde santral kurulurken öncelikle topraklama sisteminin şebeke ile aynı olması istenir. Bilindiği üzere TT, TN ve IT olmak üzere 3 farklı topraklama tipi mevcuttur. IT topraklama hastane gibi ilave güvenlik önlemlerinin istenildiği yerlerde kullanılmaktadır. Bu sistemde kullanılacak invertörlerin ona göre tasarımının yapılması gereklidir. Avrupa'da TN tipi topraklama, ülkemizde ise TT tipi topraklama kullanılmaktadır. İhtal edilen ekipmanları devreye alırken bu topraklama sisteminin kendi topraklama sistemimize uygun bir şekilde olduğu araştırılmalı, koruma elemanlarının ona göre seçimini gerçekleştirilmesi gereklidir. TT sistemlerde koruma fonksiyonu toprak hattı üzerinden gerçekleştirildiğinde topraklama iletkenler ve çevrim empedanslarını iyi hesaplanmalıdır. TN sistemlerinde çevrim empedansı faz ve koruma hatlarından tamamlandığından toprak hattı nötr hattı ile beraber hareket etmektedir.

ÇATI TIPI GÜNEŞ SANTRALİ TASARIMI

5.1 Tasarım Kriterleri

PV sistem tasarlanırken, tüm malzemelerin ilgili ulusal ya da uluslararası standartlara uygun malzemeler kullanılmalıdır. Eğer kullanılacak malzemelerle ilgili herhangi bir ulusal ya da uluslararası standart bulunmuyorsa, diğer ülkelerde kullanılan standartlar emsal teşkil edilerek kullanılabilir. Ayrıca malzemelerin Avrupa Birliği kapsamında CE belgesi taşıması gereklidir.

PV tasarımı genel olarak TSE HD 364-7-712 (IEC 60343-7-712) ve EN 62542 nolu standartlara uygun olarak hazırlanmalıdır. Bu standartlar sistem tasarımını detaylı bir şekilde açıklamış her noktanın ne şekilde tasarımının yapılacağı açıklanmıştır. Ayrıca bu sistem tasarımı, kurulumu, devreye alınması aşamasında yetkili kuruluşlardan gerekli sertifikasyonları almış teknik elemanlarının denetlenmesi zorunludur[14].

5.1.2 DC Sistem

PV sistemini tasarlarken üretim DC ve tüketim AC olduğundan bu konuda 2 farklı sistemi ayrı değerlendirmek gerektir.

5.1.2.1 Fotovoltaik Modüller

PV modüller öncelikle aşağıdaki standartlara göre imal edilmelidir:

- IEC 61215 kristal modüller için
- IEC 61646 ince film modüller için

- IEC 61730 - Fotovoltaik (PV) modülü emniyet yeterliliği

- Modüller CE işareti taşımalıdır.

Ayrıca dize ve dizi gerilimlerinin 120 volttan daha fazla olmaması tavsiye edilir.

PV sistemlerinde uygulanacak yapılarda, uluslararası standartların ya da TSE 498 nolu standartların da belirttiği gibi öngörülen rüzgar, kar ve diğer olayalara karşı dayanımı olan PV modüller kullanılmalıdır. Bu standartlar çerçevesinde PV tasarımı yapılmalı ve kurulmalıdır.

Binaya entegre olacak PV modüller için yine özel standartları olan ürünler kullanılmalı ve onaylanmış ürünler kullanılmalıdır.

PV santral tasarımıdaki tüm DC elemanların en yüksek gerilim ve akımlarının belirlenmesinden itibaren kullanılacak kablolar, ayırıcılar, sigortalar ve bağlantı ekipmanları gibi elemanların da bu kapasitelere uygun bir şekilde seçilmelidir. Ve her bir modülün ve dizinin maksimum akım, gerilim ve güç çıkışı da dikkat edilmelidir.

Bir sistem tasarlanırken ortaya çıkabilecek maksimum değerlerine göre ürün seçimini yapmak gerekir. Her ürünün dayanım kapasiteleri kataloglarda detaylı bir şekilde verilmiştir. PV paneller için dikkat etmemiz gereken 2 değer vardır. Bunlar açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc})'dır. Üretici kataloglarında bu değer belirtilir ve standard olarak 1000 W/m^2 ışınım, hava kütlesi 1,5 birim ve hücre sıcaklığı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak geçerlidir. Bu standart değerler dışında çıktığında bu iki değerde sapmalar gerçekleşebilir.

Minimum akım ve gerilim değerlerini belirlemek için aşağıdaki şekilde emniyet faktörlerini de göz önünde bulundurmak gereklidir.

Tekli ya da çoklu kristal silisyum modüller için:

- Gerilim: Açık devre gerilimi x 1,15
- Akım: Kısa devre akımı x 1,25

Diğer modül türleri için:

- İklim koşullarını göz önünde bulundurarak, havanın en kötü durumuna göre, açık devre gerilimini ve kısa devre akımını imalatçı firmanın kataloglarından hesaplanması
- Yukarıdaki hesaplamalara ilaveten bu iki değerdeki artış değerlerinin hesaplanması gereklidir.

Panellerin bazı türleri farklı sıcaklık katsayılarına sahip olabilirler. Bununla beraber yüksek ışınlam değerlerinde daha yüksek çıkış verebilme durumları söz konusudur. Bu gibi sorunlarda yukarı da kullanılan emniyet faktörlerinin de üzerine çıkması söz konusu olabilir. Diğer bir yandan bazı ince film modülleri montaj yapıldıktan birkaç hafta içerisinde standardın üzerinde bir çıkışa sahip olabilir. İnvertörlerin bu yüksek güçlerden zarar görmesini önlemek için üretici kataloglarından titizlikle bu hesaplar yapılmalıdır[14].

5.1.2.2 PV Dizi ve Dize Gerilimleri

Güvenlik nedeniyle gerilim seviyesinin minimum olması tavsiye edilir ama yapılan uygulamalar DC risk gerilim seviyesi olan 120 V değerinin üzerine çıkacaktır. Bu gerilim seviyesi aşıldığında kabloları korumak için çift izolasyon uygulanması gerekir. Bu durumlarda akım ve gerilim değerlerine uygun olarak belirlenen kabloların, bağlantı elemanlarının ve pano bağlantılarının, TS HD 60364-4 standartlarına uygun olarak önlemlerin alınması gereklidir.

Dize geriliminin 120 V geçmesi durumunda, TS HS 60364-4 standardına uygun “ çift ya da kuvvetlendirilmiş yalıtım” tedbirlerine uygun olarak çift izolasyonlu ya da güçlendirilmiş özel izolasyon sistemlerinin uygulanması gereklidir. Eğer PV dizi/dize açık devre gerilimi 1000 V DC üzerine çıkması durumunda bu sistemler çatı üzerine kurulmamalıdır. Ve bu sisteme erişimin sadece güç sistemlerinden sorumlu personel tarafından müdahale edilmelidir[14].

5.1.2.3 Doğru Akım Kabloları

Kablo akım ve gerilim değerleri TS HD 60364 standartına göre kontrol edilip hesaplanmalıdır. Bu değerlere ilaveten emniyet faktörü de eklenmelidir. Ayrıca bu standartta açıklanan ve sürekli kullanılan kablolar için ek düzeltme katsayıları da hesaplanmalıdır.

Kablolar, tam yükte dizi ve invertör arasındaki toplam gerilim düşümünü maksimum %2 olacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Gerilim düşümünü en düşük seviyede tutmak ve

arıza kaynaklarını azaltmak amacıyla kablo mesafelerinin en kısa olacak şekilde tasarım yapılması tavsiye edilmektedir.

Bu kablolar hesaplanırken sadece katalog akım değerleri göz önüne alınmamalı, ortam sıcaklığı, kablo döşeme tipi, kabloların yan yana olmasından dolayı grup faktörü de dikkate alınmalıdır. Bu değerler kablonun akım taşıma kapasitesini etkilemekte ve hesap hatasından dolayı izolasyon arızalarına sebep olabilmektedir.

PV sistemler için piyasa da solar kablolar bulunmaktadır ve tüm tesislerin DC bölümlerinde bu kablolar kullanılmalıdır. IEC tarafından bu kablolarla ilgili standard oluşturma çalışmaları devam etmektedir. Ancak bundan önceki kablolarda UL 4703 standardı kullanılabilir. Bu kabloların çalışma sıcaklığı en az -30 °C ve en yüksek 90 °C aralıklarında çalışması gereklidir.

Kablolar çatı üzerinde ya da arazilerde bulabildiğinden kısa devre ve toprak hata durumunu en düşük seviyeye indirecek şekilde gerekli önlemlerin alınması gereklidir.

Alınabilecek bazı örnekler aşağıda sıralanmıştır.

a) Çift izolasyonlu tek damar kablo

b) Metal boru, plastik boru ya da kanal gibi mekanik koruma sağlayan tek damar izolasyonlu kablo ya da tek damarlı ancak çelik zırhla güçlendirilmiş kablo.

c) Çelik zırhlı çok damarlı tel kablo (SWA kablo). Modül bağlantı kutularındaki standart konektörlere uymamasından dolayı ancak bağlantı panosu ve invertör arasındaki kullanıma uygundur.

Dış ortamdaki kablolar için UV ışınımına ve suya dayanıklı olması beklenir. Ayrıca rüzgar etkilerine karşı önlem olması açısından kabloların çok telli olmalıdır. Unutulmamalıdır ki kurulum aşamasında dikkat edilecek bu ufak ayrıntılar sistemin arıza kaynağını en aza indirecek ve sistemin kesintisiz bir şekilde çalışması sağlanacaktır. Bir kablo arızasındaki kayıp edilen enerji miktarı göz önünde bulundurulduğunda kabloların sürekli çalışması çok önem arz etmektedir.

Dış ortamda kullanılan kablolar ultraviyole (UV) ışınımına dayanıklı ve su geçirmez olmalıdır. PV modüllerin arkasına monte edilenler gibi çevresel etkilere maruz kalması

muhtemel kablolar dizelerin /modüllerin termal/rüzgar etkilerine karşı uyum sağlayacak şekilde esnek (çok telli) olmalıdır.

Kablolar her 5 ya da 10 metre aralığında etiketlenmelidir. Ayrıca birden çok dizi kabloları tek bir bağlantı panosunda toplanacak ise her devrelerin artı ve eksi kutup kablolarının karışmaması için dikkatlice etiketlenmelidirler.

Eğer bir kablo uzunluğu 20 m ve üzerinde ise DC kablo güzergahında alt taraftaki örnek gibi etiketlenmeler yapılmalıdır[14].



Şekil 5.1 Uyarı levhası

5.1.2.4 Dizi Kabloları

Dizi kablolarında hata akımlarından dolayı arızalar oluşabilir. Bu konuda 2 duruma dikkat etmek gerekmektedir. Kabloların aşırı yüklenme durumu ve aşırı miktarda modüllerin ters akımlarıdır. İki durumda da kabloların aşırı ısınmasından dolayı yangına sebebiyet verebilirler. Dizi sigortaların bulunmadığı küçük santrallerde tasarımı yaparken dizi kablolarının en yüksek arıza akımını karşılayabilecek şekilde yapılmalıdır.

Bu şekilde dizi kabloları güvenli bir şekilde enerji akışını sağlayabilirler. Bu durumlarda hatalar belki temizlenmeyebilir ancak aşırı akımdan dolayı kabloların yangın tehlikesinden kurtulmuş olunur.

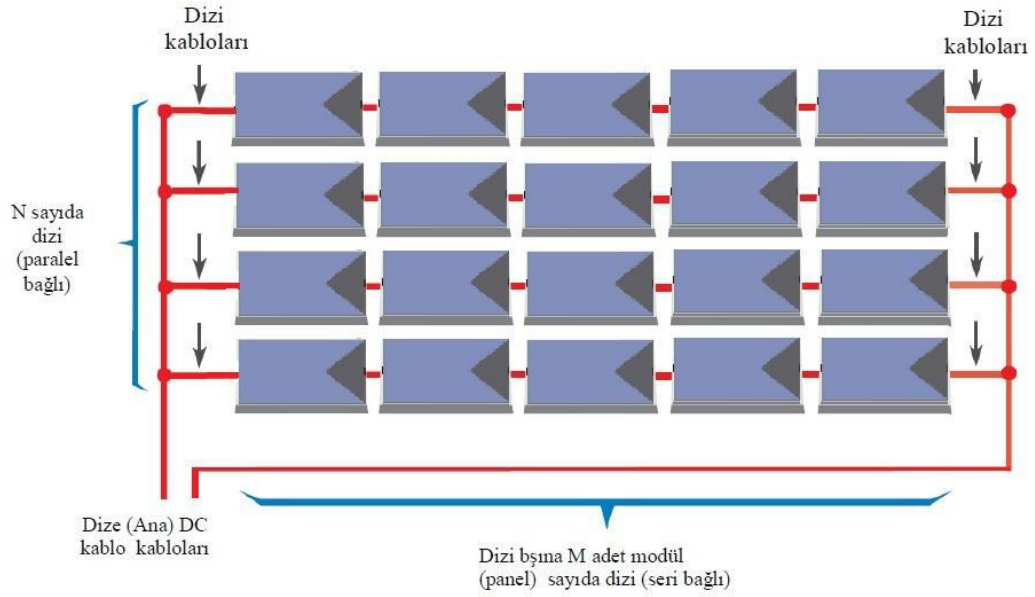
Her birinde m adet modül bulunan bir adet dizi ve toplam da n adet paralel dizi bulunsun. Bu dizilerin kabloların seçimi aşağıdaki şekilde yapılır:

- Gerilim > $V_{oc} (STC) \times M \times 1,15$

- Akım > $I_{sc} (STC) \times (N-1) \times 1,25$

- Kabloların akım taşıma kapasitesi (I_z), TS HD 60364 (IEC 60364) standartına göre kontrol edilip ona göre hesaplanmalıdır. Ayrıca bu değerlere ilaveten, kablo montaj şekli, ortam sıcaklığı ve gruplama gibi durumları da hesaplamaya dahil edilmelidir.

Eğer sistemde dizi sigortaları kullanılıyorsa kablo kesitleri daha düşük olabilir ancak yine de akım taşıma kapasitesi, $I_{sc} (STC) \times 1,25$ değerinden daha yüksek olması gerekir[14].



Şekil 5.2 PV dizilimleri

5.1.2.5 Ana DC Kablo

Her birinde m adet modül bulunan bir adet dizi ve toplam da n adet paralel dizi olan sistemde DC dize ana kabloların seçimi aşağıdaki şekilde yapılır:

- Gerilim > $V_{oc} (STC) \times M \times 1,15$

- Akım > $I_{sc} (STC) \times (N-1) \times 1,25$

Dize kabloları hesaplanırken dikkat edilen diğer faktörler ana kablo için de geçerlidir[14].

5.1.2.6 DC Erkek ve Dişı Bağlantı Ekipmanı (Konnektörler)

PV sistemlerinde en önemsiz olarak gözüken fakat tüm bağlantı noktalarının yapıldığı bu ekipmanlar arıza oranını düşük olması konusunda en önemli noktalardan birisidir. Konnektörler güneş panellerinin üzerinde monte edilmiş halde imal edilirler. Seri bağlantılarından dolayı yüksek dc gerilimlerine ulaşan bu sistemlerde konnektör kullanılması sistemin daha güvenli ve kolay montaj yapılmasını sağlamaktadır. Konnektörler için TSE EN 50521 standartlarına uyulması gereklidir ve bir santralle aynı marka ve model kullanılmalıdır. PV sistemlerde kullanılan konnektörler yukarıdaki kablolar hesaplanırken dikkat edilen gerilim ve akım değerine uygun olmalıdır. Ayrıca konnektörler UV, IP ve sıcaklık konusunda dikkat edilmesi gerekir. Eğer bu konnektörler insanların kolay erişimine olanak sağlanan yerlerdeyse bu konnektörler ancak bir el aletiyle ve iki farklı hareketle açılacak şekilde kilitli olması ve üzerinde etiketlenip kesinlikle “DC konnektörleri yük altında kesinlikle ayırmayınız” yazısının bulunması gereklidir. Konnektörler hiçbir zaman yük altında arklanmaya sebep vermemesi için DC anahtarlama veya devre kesici olarak kullanılmamalıdır.

Erkek Y konnektörleri ulaşabilir alanlarda kullanılıp, arıza noktalarında kolay mühadale edilmesi için projelerde gösterilmesi kaydıyla bağlantı panosu yerine de kullanılabilir.

Konnektörlerin bağlantısı sırasında standart ve güvenlik için özel el aletleri kullanılmalıdır. Uygun aletlerin kullanılmaması bazı noktalarda bağlantıların zayıf kalabilmesi ve bu noktada yangın riskinin ortaya çıkmasına sebep olabilir[14].

5.1.2.7 Fotovoltaik Dize DC Bağlantı Panosu

Birden fazla paralel dizi olan santrallerde DC bağlantı ya da toplama panoları kullanılır. Bu panolar kablolama maliyetini düşürmekte ve ayrıyeten dizi sigortaları ve ölçüm cihazları da bulunabilir. Bu panoların üzerine “ Dikkat! PV dizi DC bağlantı panosu, çarpılma riski!” şeklinde uyarı levhaları asılmalıdır. Tüm uyarı levhaları okunaklı ve kolayca farkedilebilir şekilde asılmalıdır. Bu tip panolarda çalışırken gün içinde bu sistemde enerji olduğu unutulmamalı, panoların herhangi bir kısa devre akımına karşı mekanik olarak dayanıklı olması gereklidir. Bunun için pano karkasının iletken olmayan şekilde iletilmesi ve artı ve eksi noktaların arasında uygun izolasyon

malzemeleriyle ayrılması ve uzak olması gerekmektedir. Ayrıca kablo ve klemens yerleşimlerinin montaj esnasında kısa devrelere mahal vermeyecek durumda imal edilmesi gerekir[14].

5.1.2.8 Dizi Sigortaları

Bir güneş modülünün kısa devre akımı ile çalışma akımının arasında çok az fark vardır. Bu bağlamda tek dizili sistemlerde sigorta kısa devre akımlarını algılamaz ve temizlenemez. Birden fazla dizinin olduğu santrallerde paralel dizilerdeki akım farklarından dolayı yüksek arıza akımlarının akışı söz konusu olabilir. Bu durumların önüne geçilmesi için aşırı akım koruma cihazları kullanılmalıdır. Bu cihazların tasarımı paralel dizi sayısına bağlı olmaktadır. Toplam akımın, modülün ters akım dayanımından daha fazla olması durumunda modüller zarar görür ve yağın tehlikesi oluşur.

Bir modülün kısa devre akımı çalışma akımının çok az üzerindedir. Bu bakımdan tek dizili sistemlerde bir sigorta kısa devre akımını algılamaz ve temizlemez.

Birden fazla dizinin bulunduğu sistemlerde diğer paralel dizilerdeki akımların bir diziden akması yüksek hata akımlarını ortaya çıkması gibi durumlar görülebilir. Böyle durumlarda aşırı akım koruma cihazlarına gerek duyulur. Aşırı akım koruma tedbirleri sistem tasarımına ve paralel dizi sayısına bağlıdır. IEC 61730-2 standardı PV modül güvenlik yeterliliği: Test-5 için gereksinimler ters akım aşırı yüklenme testini içerir. Bu ters akım testi üreticinin maksimum aşırı akım koruması değerinin veya maksimum seri sigorta değerinin belirlenmesi prosedüründe uygulanan bir yöntemdir. Maksimum seri sigorta değerinin üzerindeki hata akımları güvenlik riskini beraberinde getirir ve sistem tasarımı sırasında üzerinde durulmalıdır.

n adet paralel dizi bulunan bir sistemde bir modül maksimum ters akımı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$I_r = (n-1) \times I_{sc}$$

Eğer çıkan sonuç modül maksimum seri sigorta değerinden büyük olması durumunda aşırı akım koruma cihazları kullanılmalıdır. Bu sigortalar hem artı hem de eksi kutuplar için kullanılır.

Sigortalar, aşırı ısınmadan kaynaklı olarak değerlerinin değişebilmesini önlemek

amacıyla güneş ışığına maruz kalmamalıdır[14].

5.1.3 Yıldırımdan Korunma, Topraklama, Aşırı Gerilimden Korunma

5.1.3.1 Yıldırımdan Korunma

Çatı üzeri ve arazi üzerinde kurulan santrallerle ilgili yıldırım ve aşırı gerilime karşı korunma ile ilgili risk analizinin yapılması gereklidir. TSE EN 62305 nolu standarta konu ile ilgili tasarım detayları belirtmektedir. Panellerin metal kısımlarının yıldırım koruma iletkeni ile irtibatlanıp irtibatlanmayacağını teknik uygulama sorumlusu projesinde detaylandırılmalıdır[14].

5.1.3.2 Topraklama

Üretim tesisinin topraklama sistemi şebekenin topraklama sistemine uygun olmalı ve 21/8/2001 tarihli ve 24500 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğinde belirtilen şartlar dahilinde yapılmalıdır.

Eviricilerin Sınıf I kategorisinde bulunması nedeniyle AC terminallerinde topraklama yapılması zorunludur. Sınıf I eviricilerin sahada konstrüksiyon ekipmanına monte edilmesi durumunda topraklama için gerekli önlemlerin alınması gereklidir.

PV üretici oluşturan PV modüllerin ve diğer ekipmanın üretici talimatları, en uygun topraklama tertibatının sağlanması için göz önünde bulundurulmalıdır.

PV sistemlerin eviriciye bağlanması durumunda, IEC 62109-2 (PV güç sistemlerinde kullanılan güç dönüştürücülerde güvenlik – Bölüm 2: Eviriciler için zorunluluklar) topraklama tertibatına göre (ve evirici topolojisine göre) zorunlulukları ortaya koyar. Bunlar asgari evirici izolasyon zorunlulukları, üreteç toprak izolasyon direnci ölçüm zorunlulukları ve üreteç artık akım belirleme ve toprak hata alarımı zorunluluklarıdır[14].

5.1.3.3 Aşırı Gerilimden Korunma Önlemleri

DC kablolarının olabildiğince kısa mesafelerde montajı yapılmalı ve aynı dizideki kabloları yan yana döşenmelidir. 50 metre üzerindeki kablolar topraklanmış metal boru veya kablo tavası içerisinde montajı yapılmalı ya da çelik zırhlı kablolar kullanılmalıdır.

Bu önlemler kabloları endüktif darbelere karşı koruma sağlayacak diğer bir yandan da darbe iletimlerini azaltacaktır. Kablo tavaları ve borular herhangi bir su birikintisinden ve korozyondan önleyecek şekilde montajı yapılmalıdır.

Şebeke bağlantılı invertörlerin hemen hemen hepsinde entegre olarak darbe gelirim koruma röleleri mevcuttur. Ayrıca harici olarakta parafurdrlar kullanılabilir[14].

5.1.4 AC Sistem

5.1.4.1 AC Kablolama

AC kabloların tasarımı için TS HD 60364 nolu standarta ve kuvvetli akım yönetmeliğindeki maddeler dikkate alınmalıdır. Genellikle gerilim düşümü %1 olarak tavsiye edilir. Bu oranın talep edilmesindeki sebep üretim devam ederken invertör girişlerindeki gerilim tüketimi tarafındaki gerilimden daha yüksek olması ve yüksek güç üretimi sırasındaki gerilim düşümünün invertörün aşırı gerilim korumasının devreyi kesmesini engellemek içindir. Ancak yüksek güçlü ve uzun mesafeli santrallerde kablo maliyetini arttırabileceği için standartlar çerçevesinde gerilim düşümü oranına uyulabilir[14].

5.1.4.2 RCD Koruma

Ülkemizde kuvvetli akımlar tesisleri yönetmeliği gereğince zorunlu olan artık akım anahtarı TSE HD 60364 nolu standarta uygun bir şekilde seçimi yapılmalıdır.

5.1.4.3 AC Ayırma ve Anahtarlama

Standartlar çerçevesinde bir sistem tasarımı için, santrallerin aşağıdaki şartları sağlayan bir anahtarlama elemanına ihtiyacı vardır.

- Faz ve nötr hattını ayırmalıdır.
- OFF konumunda kilitlenebilir şekilde eminyette olmalıdır.
- Acil durumlarda müdahale için kolay ulaşılabilir yere monte edilmelidir.
- Ayırıcı “ PV- AC ana ayırıcısı” şeklinde etiketlenmelidir.

Anahtarlama elemanı TSE HD 60364 (IEC 60364) standardına uyumlu olmalıdır. Evirici ile AC şebeke beslemesinin irtibatını kesecek şekilde bir ayırıcı bulunmalıdır[14].

5.1.4.4 İvertörler

Öncelikle invertörler ilgili mevzuatlara uygun bir şekilde tip test sertifikasına sahip olmalıdır. Diğer bir konu ise şebeke de enerji yok iken PV sistemin tersten şebekeyi beslenmesini engellemek için ayırması istenir.

5.1.4.5 Evirici Kapasitesinin Belirlenmesi

PV santrallerinde kullanılan invertörlerin kapasitesini belirlemek için birkaç faktörü göz önünde bulundurmak gereklidir. Bunlar:

- Türkiyede ki dağıtım şebeke şartlarına uyumluluğu
- Çalışma sıcaklığının modüller ile ilgili olan uygunluğu
- İvertör maksimum giriş gerilimi
- İvertör maksimum çalışma noktası gerilimi aralığı

İvertör gücünü ve adetlerinin belirlenmesi için üreticilerin kataloglarındaki sistem boyutlandırma tablosu ya da ilgili yazılımlarla yapılması istenir. Örneğin panellerin farklı yerleştirilmesinden dolayı dizilerin farkı güçlerde olması ya da panellerin farklı MPPT noktalarının olması aynı invertörlere bağlanması durumundaki verimleri ciddi bir şekilde düşürecektir. Ayrıca seri bağlantıdan dolayı açık devre gerilimlerinin yüksek olması invertör girişlerinde buna uygun bir şekilde seçilmesi gereklidir.

İvertörlerin havalandırılması çok önemlidir. İvertörler içindeki yarı iletken ekipmanlardan dolayı çok ciddi ısı üretirler ve yüksek sıcaklıklar invertörlerin güçlerindeki verim düşüşlerine sebep olurlar. Birden çok invertörün aynı pano içerisinde montajı yapılırken katalog bilgilerindeki havalandırma mesafeleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu panolarda “ İvertör havalandırmalarını engellemeyiniz” uyarı tabelaların bulundurulması gerekir.

Ayrıca invertörlere müdahale etmeden önce mutlaka ama mutlaka AC ve DC ayırıcıları kullanarak izole edilmesi gereklidir[14].

5.1.4.6 AC Kablo Koruma

İnvertörden çıkan kabloların korumaları dağıtım panosu içinde olmalıdır. Bu koruyucu elemanları TSE HD 60364 standartına göre tasarımı yapılmalıdır[14].

5.1.5 Sistem Performansını Etki Edecek Diğer Etmenler

Dizi Tasarımı ve Eğim: Dizi tasarımını farklı çeşitlerde hesaplamak ve o dizilerin uygun açı ve yönlerde maksimum verim yüzdesi hesaplanabilir.

Gölge Etkileri: Gölgeleme faktörü tasarım ve uygulamada performansı etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Küçük bir yaprak göngesi bile dizi çıkışındaki güce çok ciddi bir düşüşe sebep olur.

Coğrafi Konum : Ülkelerin güneş ışınım haritasına göre panel yerleşimi ve verim hesabı yapılması gereklidir. Ülkemizde kuzeyde daha az ışınım aldığından o bölgelere kurulan sistemlerden daha az verim beklenir.

Sıcaklık Etkisi: Modül sıcaklık artışı ve performans gerçekte ters orantılıdır. 1 derecelik bir artış modül çıkışında yaklaşık olarak %0.5 oranında bir verim düşüşüne sebep olur. Soğutma için modüllerin yeteri derecede havalandırılması gereklidir ve iki modülün yan yana bağlantı mesafesi en az 20 mm olmalıdır.

Modüller ile çatı kaplaması arasındaki mesafe en az;

- Kiremit kaplı çatı :60 mm,
- Metal, trapez veya sandviç kaplamalı çatı: 100 mm
- Diğer çatı kaplamaları için: 80 mm

olmalıdır.

Hava boşluğu bırakmanın PV sistemin performansını arttırdığı testlerle kabul edilmiştir.

Diğer Faktörler: İnvertör verimi, invertör- dizi uyumu, kablo kayıpları, tozlanma kayıpları ve şebekeden kaynaklı arıza kayıpları olarak özetlenebilir[14].

5.1.6 Montaj Sırasında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

PV sistemi personeli, çalışmaya başlamadan önce tüm iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili çevreye ilişkin tüm yasal mevzata uyması ve önlemleri alması gereklidir. Ayrıca ürünlerin uygun kalite standartlarında montajını yapan, tüm şemalara hakim olmalıdır.

PV sistemlerinde dikkat edilmesi gereken noktalardan bir tanesi ise, güneş ışınımına maruz kaldıklarından itibaren üretime başlamakta ve durdurma imkanları yoktur. Diğer tesisat kurulumlarına nazaran elektrik altında çalışmak demektir. Dolayısıyla bu tesiste çalışan uzman kişilerin iş sağlığı ve güvenlik kurallarına uygun bir şekilde çalıştırılmaları zorunludur.

Akım sınırlayıcı ekipman olarak, PV modül dizileri hata anında sigortalar tarafından farkedilip ayrılamazlar. Nitekim kısa devre akımları nominal akımlarından biraz yüksektir. Hata oluştuğu zaman uzun süre tehlikeli olarak kalabilir.

İyi kablolama ve tasarım daha sonra sistemle uğraşacak kişilerin de elektrik çarpmamasına karşı yardımcı olur. Beklenmeyen arıza akımları yangın tehlikesine dönüşebilir. Böyle bir durumu engellemek için sigorta dışında iyi tasarım, dikkatli kurulum çok önem kazanır.

PV tesislerde çalışanların başka bir riski düşme, hasar görme gibi durumlar nadiren de olsa karşımıza çıkar. Aynı zamanda elektrik çarpmasına karşı da dikkatli olunmalıdır[14].

Doğru Akım (DC) Devreler

Personel

PV sistem montajı konusunda, DC gerilim üzerinde çalışan bütün personel eğitilmiş ve deneyimli olmalıdır. DC tarafta çalışacak "Fotovoltaik Güç Sistemi Personeli"nin, 40 saatten az olmamak üzere temel PV, uygulama ve bakım konusunda eğitilmiş/sertifikalı olmalıdır. Bu eğitim/sertifika üniversiteler, meslek odaları, özel eğitim kurumları, kamu kurum ve kuruluşları vb. yerlerden alınabilir.

Dizi/Dize İşlemleri

Bir PV dizi/dizesi montajı yapılırken üreticinin talimatlarına her zaman dikkat edilmelidir. Aynı anda erişilebilen canlı pozitif ve negatif kısımlarla çalışmadan önce iyi muhafaza edildiğinden emin olunmalıdır. Kablolar, özellikle rüzgara maruz kalacak olanlar iyi desteklenmelidir. Kablolar iyi sabitlenmeli (UV dayanıklı bağlarla), öngörülen bölgelerde veya mekanik koruma içinde güzergahı yapılmalı ve keskin kenarlardan korunarak geçirilmelidir[14].

Canlı Çalışma

PV kurulumda canlı (enerji altında) çalışma kaçınılmazdır. Ancak sistem tasarımıdaki önlemler ve çift yalıtım ile şok korumaya karşı önlem sağlanır. Ayrıca, sadece bir DC iletken elindeyken çalışmak düşük bir tehlike arz etse de bu tehlike uygun koruyucu aletlerle azaltılmalıdır.

Eğer bir yerde aynı anda çıplak artı ve eksi kutuplarıyla çalışmak gerekirse uygun yalıtkan eldiven ve araçlar kullanılmalıdır. Geçici bir uyarı işareti ve bariyer kullanılmalıdır[14].

Canlı kablolarla çalışmada tehlikeyi azaltmak için geceleri de (yeterli aydınlatma ile) çalışmak mümkündür. Alternatif olarak bir dizeyi örterek de çalışılabilir. Fakat bir PV dizeyi örtmek kurulum süresince hava şartlarından dolayı o örtüyü korumak pratik olmayacağı için genelde tavsiye edilmez.

Elektrik çarpma tehlikesinden kaçınmak için, çalışmadan önce tüm parçaların gerilimin varlığını kontrol edilmesi gereklidir. PV modüllerinde kapasitif elektrik oluşabilir. Bunu engellemek adına izole eldiven ve izole halı ya da sehpa üzerinde çalışmak gerekir.

PV dizisinin kaçak akımından çarpılma riskinden etkilenmek için, çift izolasyon veya yalıtımlı modüller kullanılmalıdır[14].

5.2 Çatı Üzeri PV Santral Tasarımı

Bu bölümde Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakülte binasının çatısına güneş enerjisi santral tasarımını ilgili programlar vasıtasıyla tasarlayıp ekonomik analizini araştırılacaktır.

5.2.1 PVSOL Programı

PVSOL programı mimarların, mühendislerin ve araştırma yapmak isteyenlerin kullanımı için hazırlanmış bir PV sistem tasarım programıdır. Aynı zamanda program içerisinde bulunan yardım bölümünde her sekme detaylıca anlatılmıştır. Programa gerçek zamanlı meteoroloji verilerini ekleyerek gerçek hesaplama yapmak mümkündür.

5.2.1.1 PVSOL Programı Özellikleri

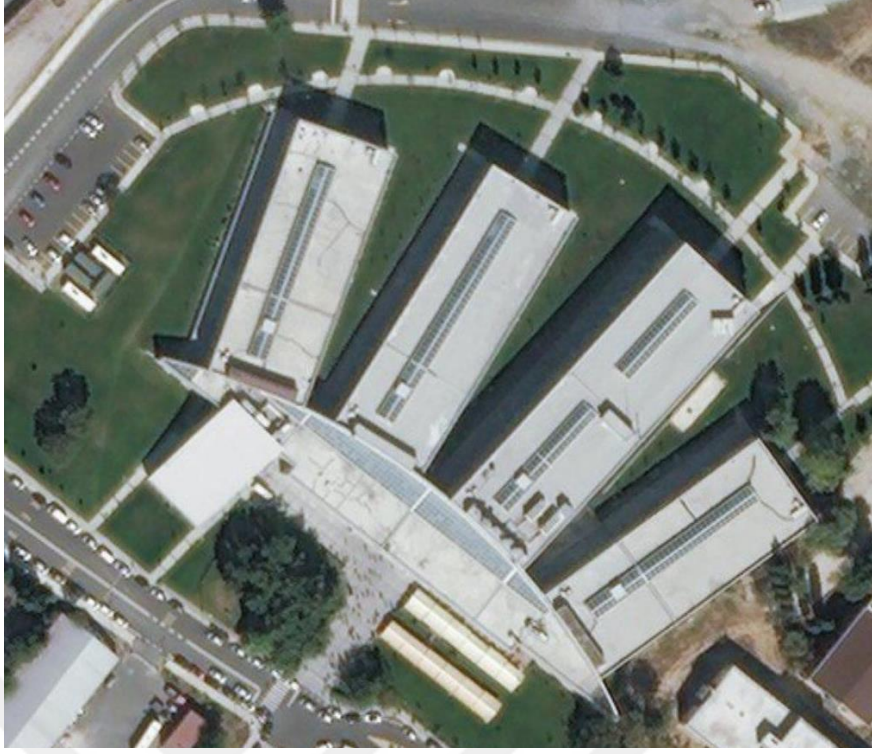
- Talep edilen güce ya da uygun alana göre sistem tasarımı yapabilme

- Dünyadaki birçok panel ve inverter üreticisinin çevrimiçi olarak güncel modelleri ile hesap yapabilme
- Akım/Gerilim eğrisi MPPT aralığı, inverterin gerilim, akım ve güç limitlerini görebilme
- Inverterin yıllık verim kaybını da göz önünde alarak gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilme
- 3Boyutlu olarak sistem tasarımı yapıp, gölgelenme etkisine göre farklı sonuçlar elde edebilme
- Simülasyona akü ekleyebilme
- Toplam enerji üretimi, sistemin verimini, aylık olarak enerji üretimi, sistemin maliyet analizini görebilme

5.2.2 Simülasyon

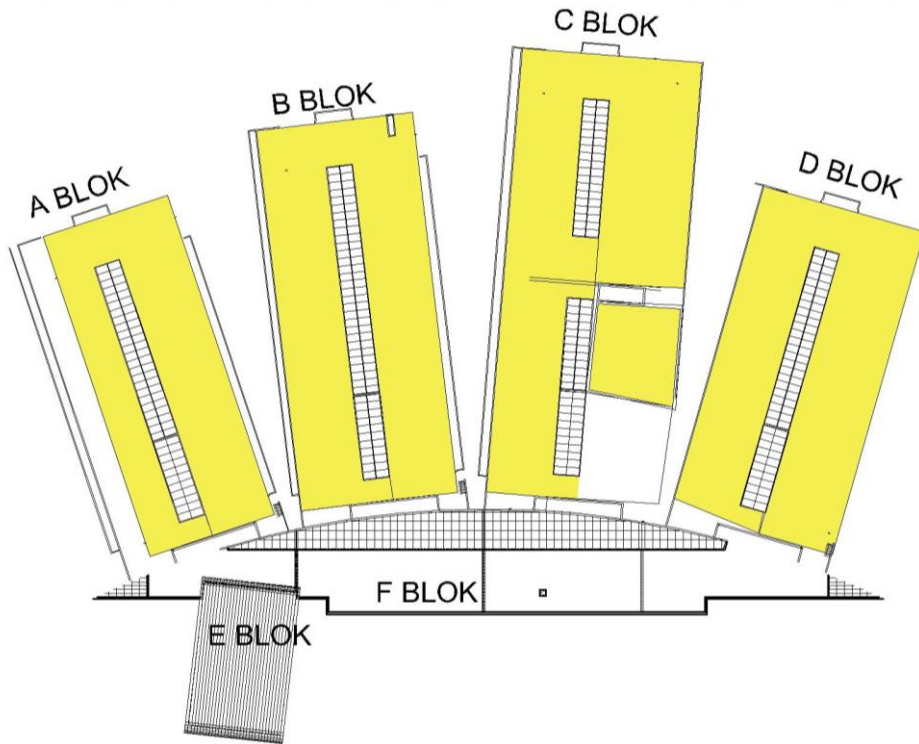
Programın arayüzü çok basit olup, tüm sistem simülasyonu bu program üzerinden yapılacaktır. Sıfırdan başlayanlar için yardım bölümü ve ayrıca internet üzerinden video ile detaylı bir şekilde tüm aşamalar adım adım anlatılmıştır.

Simülasyona başlamadan önce bina ile ilgili bazı elektriksel ve mimari ile ilgili bilgiye ihtiyacımız vardır. YTÜ Elektrik- Elektronik fakülte binası 1 giriş bölümü, 1 konferans salonu ve 4 ayrı birbirleriyle bağlı binalardan oluşmak üzere toplam 6 blok halindedir. Güneş panelleri A,B,C ve D blokların çatısında monte edilecektir. Çatı eğimsiz düz bir yüzeye sahip olup sadece ışıklık mevcuttur. Ayrıca C blok çatısında soğutma cihaz gurupları mevcuttur.



Şekil 5.3 YTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Uydu Görüntüsü

Sarı renkle işaretlenen alanlar güneş paneli montajı için uygun olan alanları ifade etmektedir.

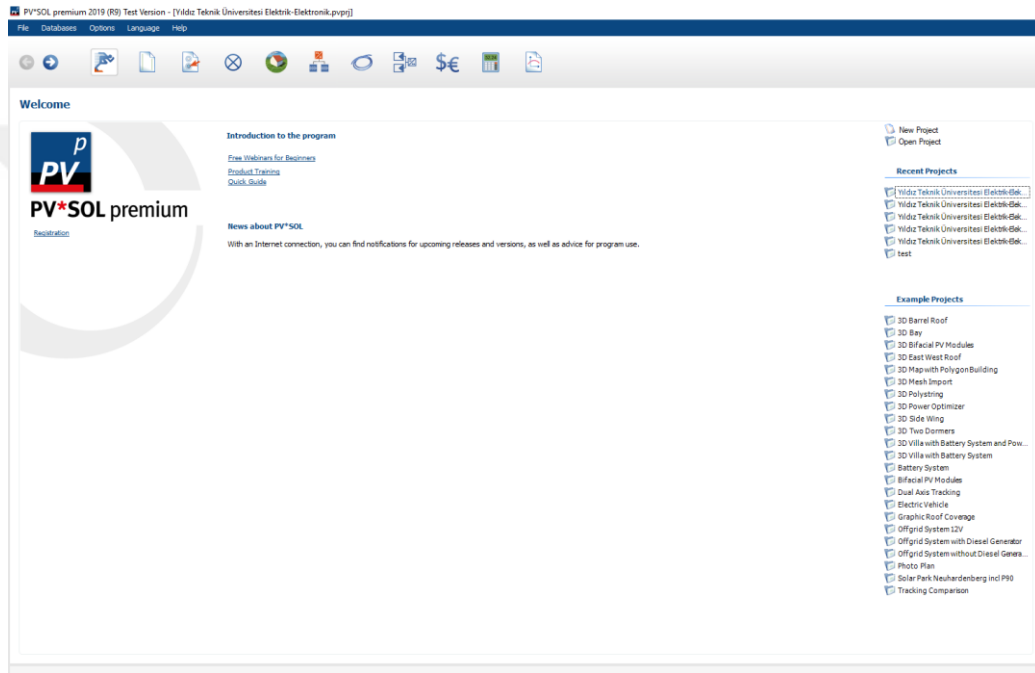


Şekil 5.4 Güneş paneli monte edilebilecek alanlar

Panel monte edilecek yerler sarı işaretli yerler olarak planlanmış olup, gölgelenme etkisinin sonuçlarına göre panel yerleşim ve adetleri simülayon çıktısına göre tekrardan değerlendirilecektir. Ayrıca çatıda olan bazı geçici cihazların da imalat sırasında kaydırılması gerekebilir.

Bina yükseklikleri A,B,D blokları için 13 metre, C blok için 17 metre olarak hesaplanmıştır.

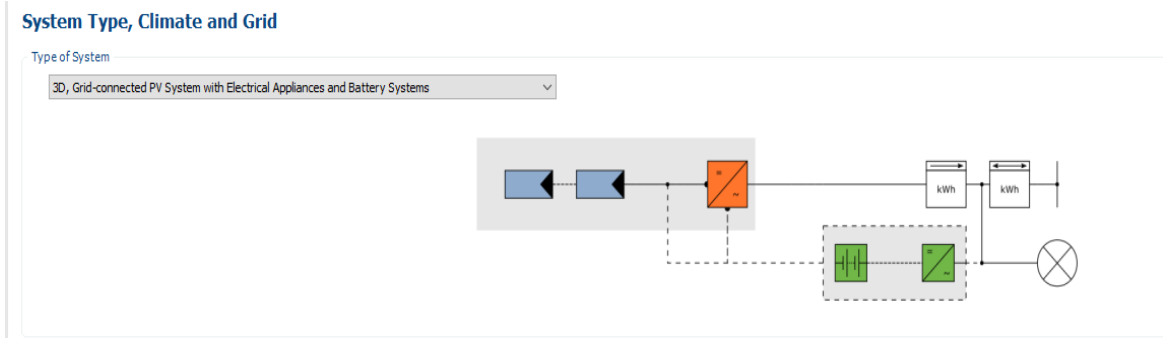
5.2.2.1 Proje Oluşturma ve Tüketim Bilgileri



Şekil 5.5 Program giriş ekranı

Programı açtığımızda karşımızda önce beyaz bir ekran çıkacaktır. Bu sayfada sağ tarafta “New Project” bölümüne girip, sistemi tasarlamaya başlanabilir. Program size sistemi adım adım tasarlamaya yardımcı olmaktadır. Yeni proje oluşturduktan sonra, projenin genel bilgilerini gireceğimiz bir bölüm çıkmaktadır. Burada proje adı, adresi, talep edilirse resmi de eklenebilir. Gerekli bilgiler girildikten sonra, 3. aşamaya geçilmelidir. 3. Aşamada sistem tipi, santaların kurulacağı yerin konum bilgisi ve genel şebeke bilgileri yer almaktadır. Bu bina için şebeke ile bağlantılı ve aynı zamanda akü takviye sistemi olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Bu sayfadaki konum bilgisi meteoroloji firmaları tarafından daha önceden ölçüm yapılmış konumların yıllık güneş verilerinin alacağımız bölümdür. Davutpaşa kampüsü için lokasyon oluşturduğumuzda bu yerin

yıllık güneş ışınım değeri 1387 kWh/m² ve yıllık ortalama sıcaklık 15.3 °C olarak gerçek zamanlı veriler alınmıştır. Alçak gerilim tarafında faz-nötr gerilimi 230 V, 3 fazlı sistem ve güç faktörünü de 0,98 olarak sisteme işlenmiştir. Bu bölümden şebeke yapısına göre değerler değiştirilebilir.



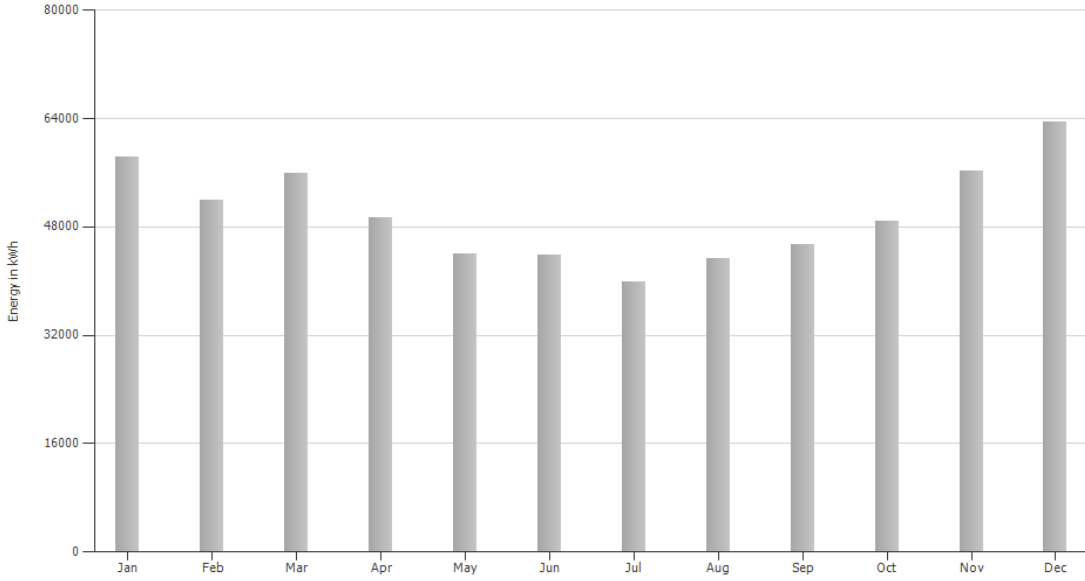
Şekil 5.6 Sistem tipi seçimi

Sistem tasarımı ve lokasyon bilgileri girildikten sonra, binanın tüketim verileri girilmiştir. Bina elektrik projeleri incelendiğinde C blokta bulunan soğutma grubundan dolayı en yüksek elektrik tüketimi o blokta olmaktadır. Talep güç yaklaşım yöntemiyle yıllık tahmini elektrik tüketimleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

- A Blok: 114.000 kWh
- B Blok: 268.000 kWh
- C Blok: 112.000 kWh
- D Blok : 106.000 kWh

Toplam ise yıllık 600.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıl içinde değişen güneşlenme süreleri ve klima yüklerinden dolayı yıl içinde her ay aynı seviye de güç tüketimi olmamaktadır. Ayrıca gerçek tahmine yaklaşmak adına, haftasonu yükleri de daha düşük hesaplanmıştır. Aylara bölünmüş yıllık enerji tüketimi aşağıdaki grafikte verilmiştir.

Çizelge 5.1 Tüketimin aylara bağlı dağılımı



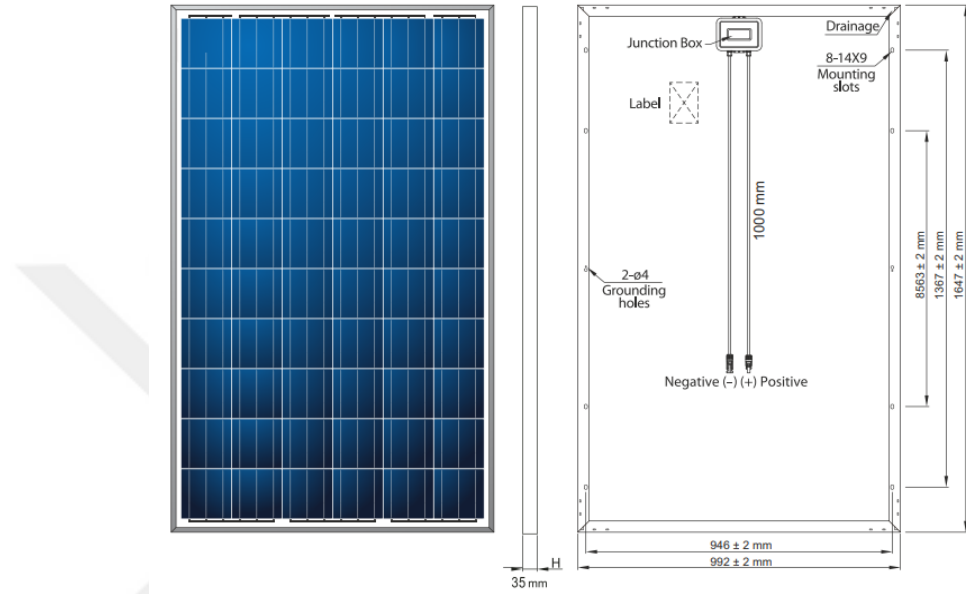
Bu bölümde kışın aydınlatma yükünden dolayı yüksek seviyede bir enerji tüketimi, yazın ise okul kapalı olduğundan bir nebze daha az bir enerji tüketim seviyesi tahmin edilmiştir. Bu bölüm için elektrik faturası değerlerini de aylık olarak girilerek gerçek tüketim grafiği oluşturulabilir.

5.2.2.2 Santral Alanı Belirleme ve Güneş Panel Seçimi

Yük tahmini işlemlerini gerçekleştirildikten sonra 3 boyutlu bina tasarımı ve panel yerleşimlerinin yapıldığı simülasyon ekranına geçilmiştir. Binayı sisteme eklemek için bir kaç alternatif bulunmaktadır. Binanın 3 boyutlu mimarisi var ise diğer paket programlarıyla uyumlu olarak çalıştığından direk eklenebilir, binanın mimari özellikleri biliniyorsa sıfırdan bina 3 boyutlu bir şekilde modellenilebilir. Son seçenek ise uydu resimlerinden binanın alanı bulunup o şekilde bina modellenilebilir. Bu tezde binanın uydudan çekilmiş resimleri kullanılarak ve aynı zamanda bina yükseklikleri mimari projelerden kontrol edilerek 3 boyutlu hale getirilmiştir. Bu bölümde önce güneş panellerinin monte edilecek alanlarını belirlemek gereklidir. Diğer bir yandan panel monte edilmesi imkansız olan yerlerin de simülasyonda işaretlenmesi gereklidir. Her blok çatısı için ışıklık alanına güneş paneli monte edilmeyeceğinden dolayı o bölümler

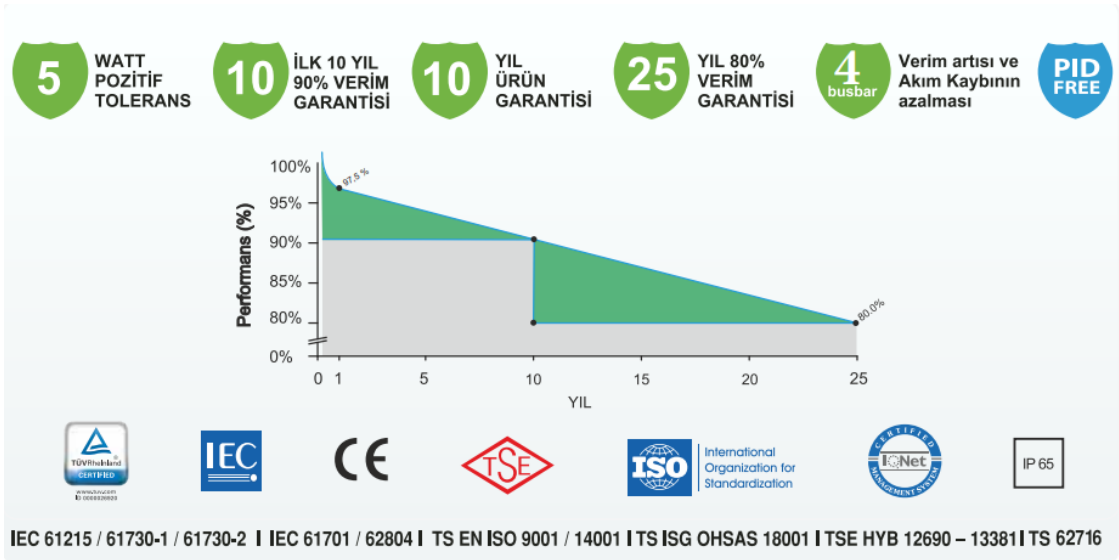
monte edilecek alanların dışına çıkarılmıştır. Ayrıca C Bloktaki soğutma gruplarından dolayı da o bölüme herhangi bir panel montajı düşünülmemiştir.

Güneş paneli olarak yerli üretim olan Solartürk STH P 250 Wattlık polikristal tip kullanılmıştır. Dünyadaki hemen hemen tüm üreticilerin panel modelleri bulunabilir bu tiplere göre sistem tasarımı kullanılabilir.



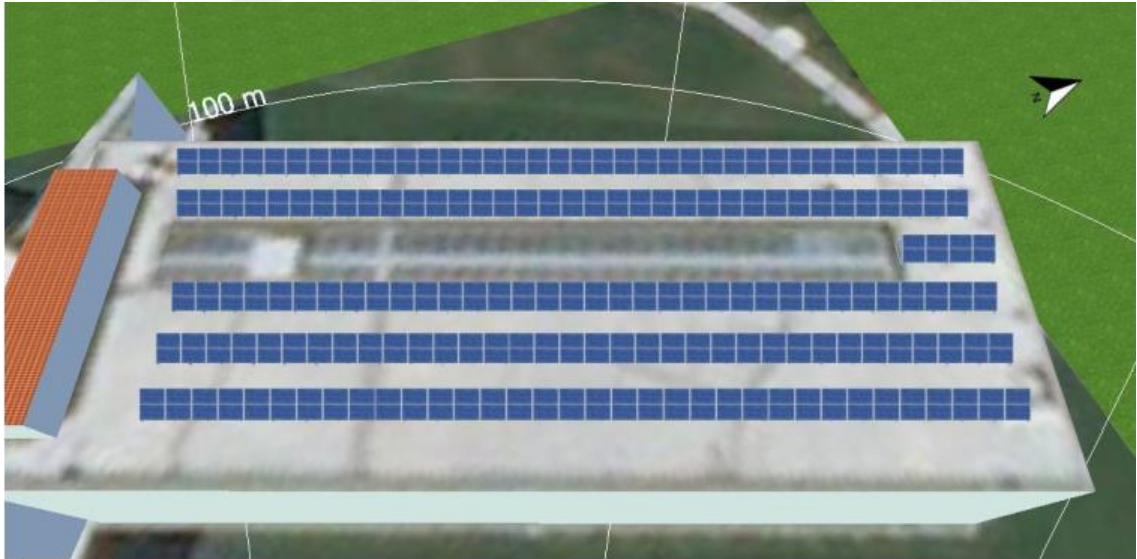
Şekil 5.7 Panel ölçüleri

Enerji güç akışı ve maliyet analizi yaparken dikkat etmemiz gereken en önemli noktalardan bir tanesi de panel performans eğrileridir. Şüphesizdirki panellerin iç yapısından dolayı sürekli her sene aynı güç vermesi beklenemez. Hesaplama yapılırken bu performans eğrisinin de dikkate alınması gereklidir. Bu panel için imalatçı firma 10 sene %90 ve 25 sene %80 verim garantisi vermektedir. Bu değerleri de doğru sonuç almak için simülasyona girmemiz gereklidir.

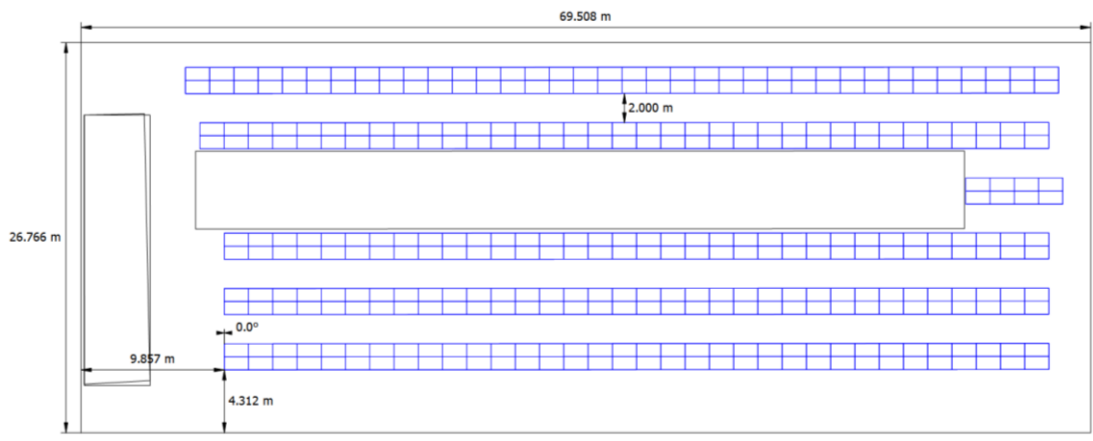


Şekil 5.8 Panel performans eğrileri

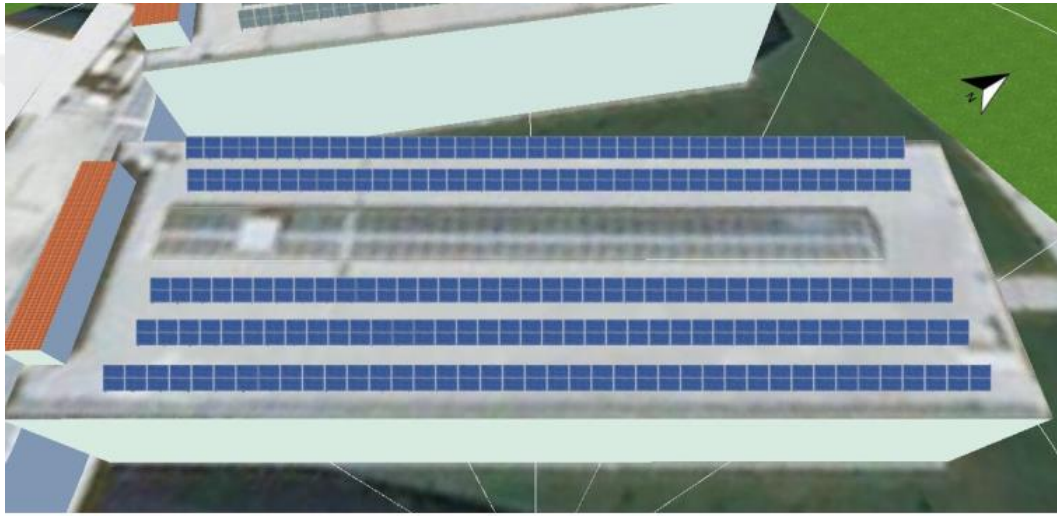
Güneş panellerin modeli belirlendikten sonra bina üzerinde yerleşim planı simülasyon üzerinden yapılmıştır. Panel montaj şekli dikey ya da yatay olarak seçilebilir. Aynı zamanda ise üst üste kaç sıra olacağını da eklenebilmektedir. Bu proje için yatay ve 2'li sıra olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Her blok için yerleşimler aşağıdaki şekilde yapılmıştır.



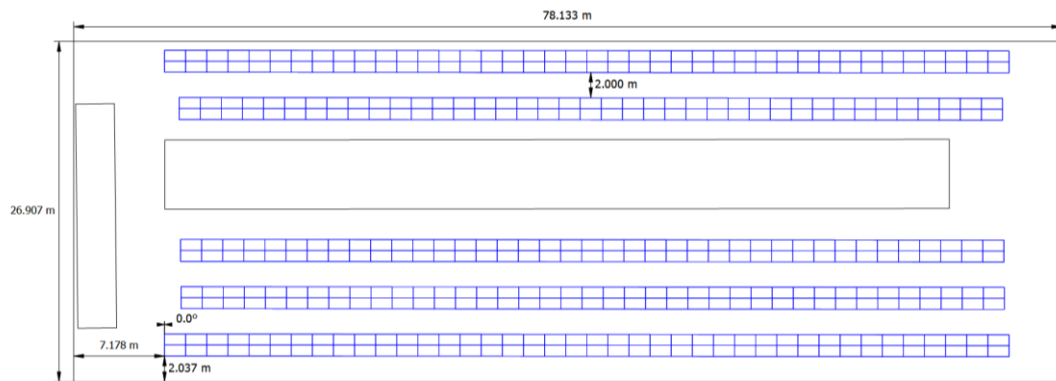
Şekil 5.9 A Blok görünüş



Şekil 5.10 A Blok yerleşim



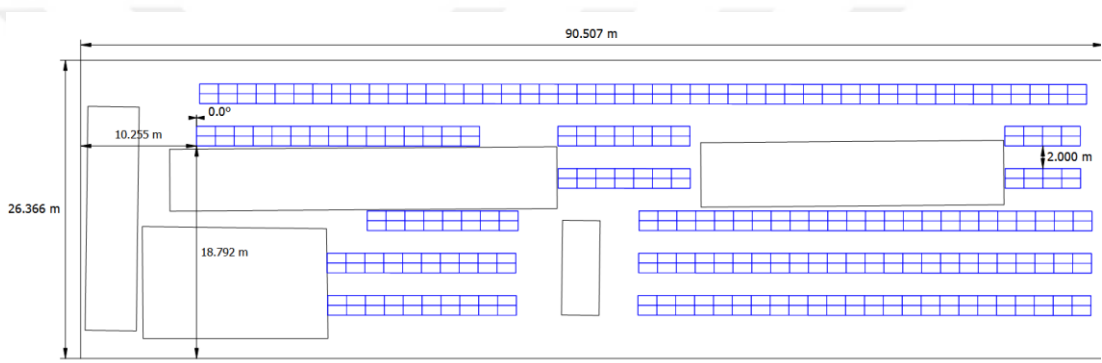
Şekil 5.11 B Blok görünüş



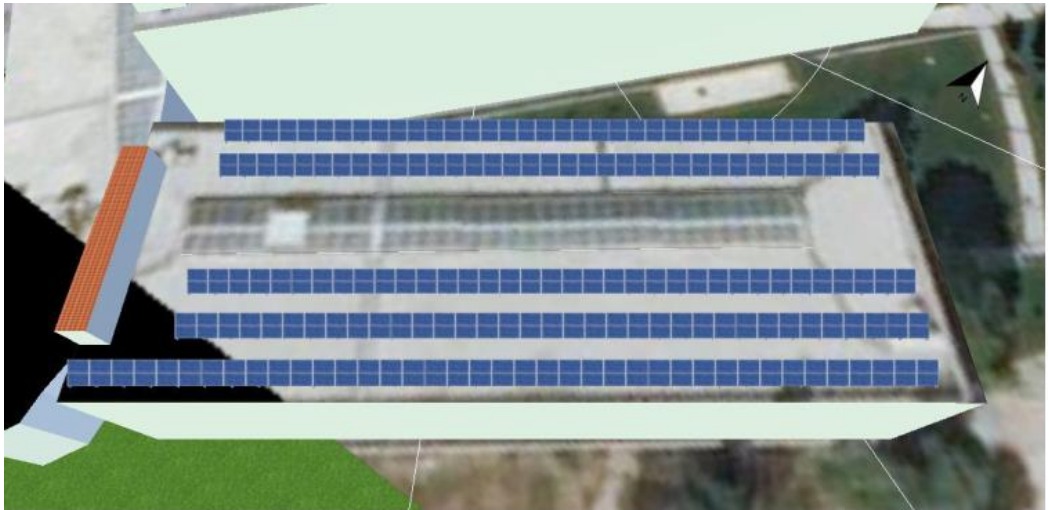
Şekil 5.12 B Blok yerleşim



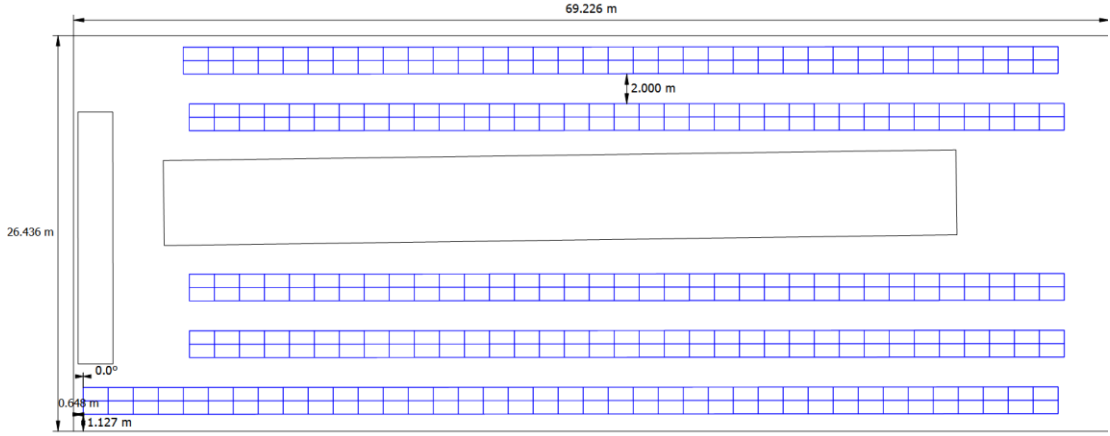
Şekil 5.13 C Blok görünüş



Şekil 5.14 C Blok yerleşim



Şekil 5.15 D Blok görünüş



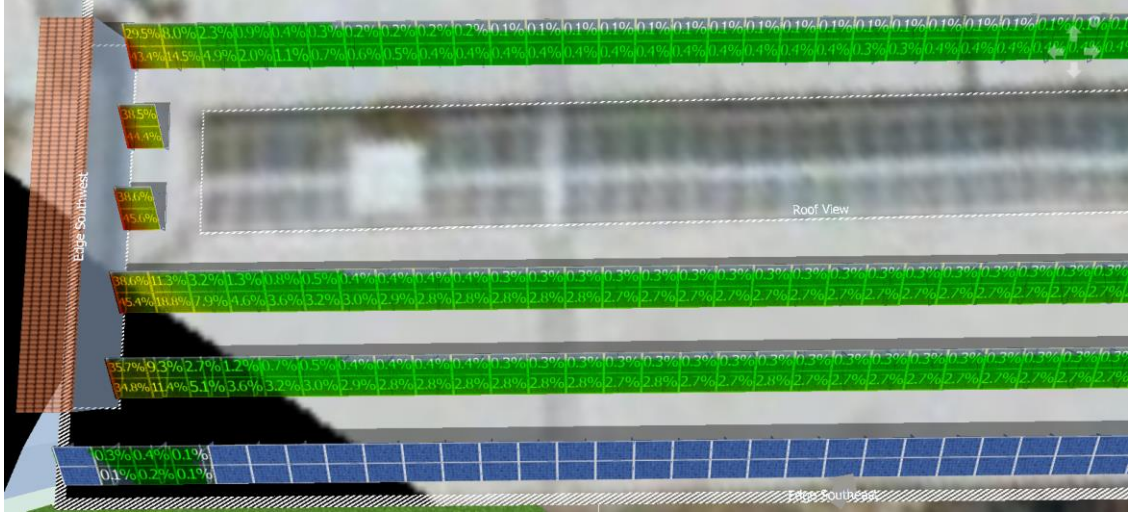
Şekil 5.16 D Blok yerleşim

Bu yerleşimler yapıldıktan sonra blok üzerindeki kurulu güçler aşağıdaki şekilde olmuştur.

- A Blok: 88.5 kWp
- B Blok: 98.5 kWp
- C Blok: 92 kWp
- D Blok: 89.5 kWp
- Toplam: 368.5 kWp

5.2.2.3 Panellerin Gölgeleme Etkisinin İncelenmesi

Yerleşimler yapıldıktan sonra panel çevresinde gölgeleme etkisinin de kontrol edilmesi gereklidir.



Şekil 5.17 Blok gölgeleme etkisi sonuçları

Yukarıdaki resimden de görüleceği üzere binaya yakın olan kısımların gölgeleme etkisinden dolayı yaklaşık %45 oranında verim kaybı ortaya çıkmaktadır. Ekonomik açıdan %12 verim kaybı olan panellerin monte edilmesi pek tavsiye edilmemektedir. Bu nedenle bu paneller simülasyon çıktılarında iptal edilmiştir.

5.2.2.4 İntertör Seçimi

PV güçleri ve yerleşimleri yapıldıktan sonra invertör seçimi yapılmıştır. İntertör seçimi tamamiyle binanın yapısı ve yatırım maliyetine göre değişebilmektedir. İntertör seçimine dikkat edilmesi gereken nokta ise seri bağlı dizinin maksimum açık devre geriliminin invertör giriş geriliminden yüksek olmaması gereklidir. Aksi takdirde üretimin olmadığı ve özellikle soğuk günlerde açık devre gerilimi çok yüksek olacağından invertör girişlerine zarar verebilmektedir. Diğer noktalar ise invertörlerin verimli çalışabilmesi için santral kurulu gücüne yakın bir güçte seçilmelidir. Bina 4 bağımsız yapıdan oluştuğundan dolayı her bir bloğa 100 kW gücünde ABB String PVS 100/120-TL bir invertör seçimi yapılmıştır.



Şekil 5.18 Seçilen İnvörtör

Seçilen invertörde 6 adet MPPT girişi olduğundan aslında gölgelenme etkisini ve maksimum verimi elde etmek adına sistemi 6ya bölerek olası kayıplardan olabildiğince az zarar görmesi açısından bu invertör seçimi yapılmıştır. Daha büyük güçlü santrallerde olası invertör arızalarından tüm santral etkilenmemesi açısından daha düşük güçlü ve yedek olacak şekilde invertör tasarımı da yapılabilir. Bu tamamiyle ekonomik ve santral tipine göre değişiklik göstermektedir.

5.2.2.5 Akü Grubu Seçimi

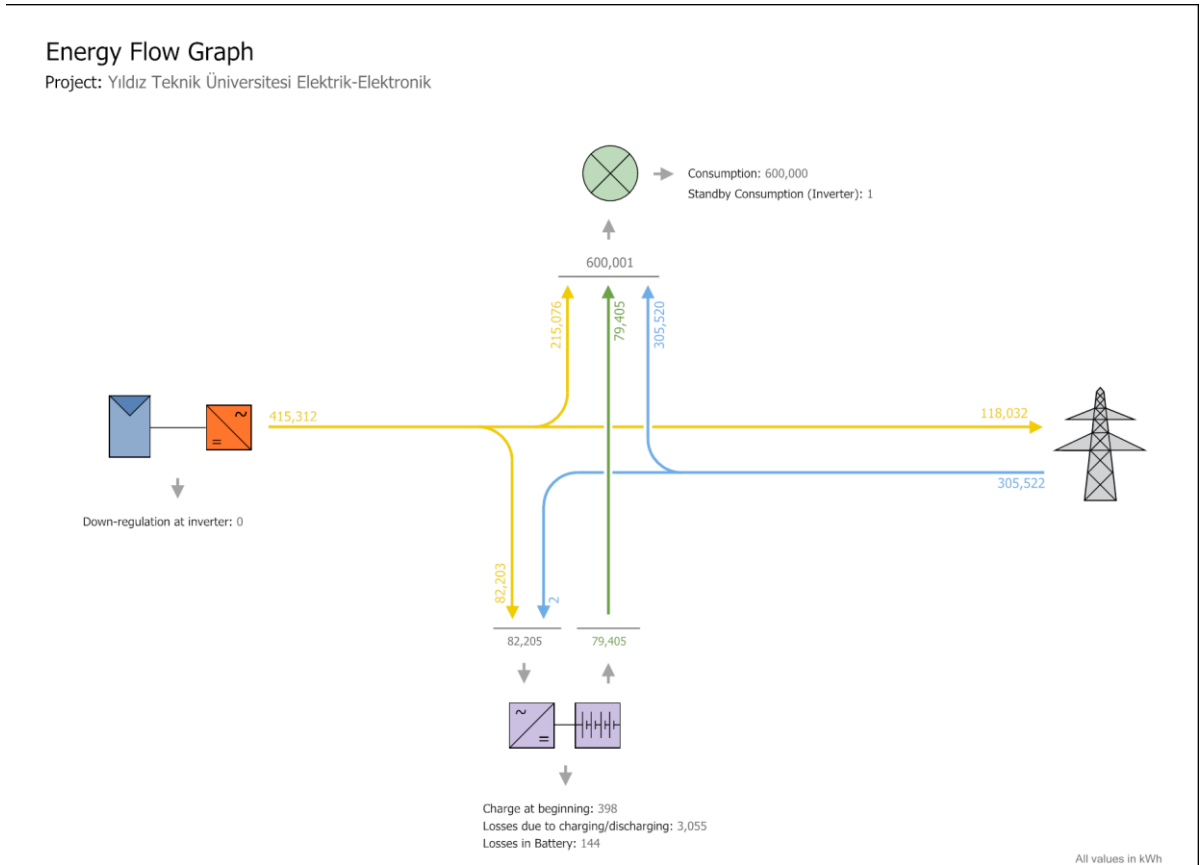
Fazla olan üretim vaktinde enerjiyi depolayıp, üretimin olmadığı saatlerde sisteme enerji vermek için akü grubu da sisteme eklenebilir. Bu proje için her biri 20 kWh (384 Ah) gücünde toplam 20 adet akü grubu simülasyona eklenmiştir. Bu proje için gece vakti ortalama enerji tükemi 410 kWh olarak hesaplanmıştır. Akü grupları maliyetleri çok yüksek olduğundan bu tip projelerde pek kullanılmamaktadır. Teknik açıdan herhangi bir sorun teşkil etmemesine rağmen, akülerin ömür çevrimlerinin olması ve belli bir seneden sonra verimlerinin ciddi bir şekilde düşmesinden dolayı ekonomik açıdan uygun olmayabilmektedir. Akü grup maliyet analizi, ekonomik analiz bölümünde incelenecektir.

5.2.2.6 Devlet Teşviklerinin Belirlenmesi

Şebeke ile bağlı sistemlerde çoğu devletlerin uyguladığı bir fiyat politikası mevcuttur. Bununla ilgili simülasyonda 7 ülke için ülkelerin enerji tariflerine göre seçim yapılabilir. Malesef ülkemiz bu listede olmadığından ülkemizin uyguladığı tarifenin dolara çevrilmiş bir şekilde tarife oluşturulup sisteme eklenmiştir.

5.2.3 Simülasyon Sonucunun Yorumlanması

Tüm sistem girdileri programa eklenildikten sonra simülasyon sonuçlarının çıktısı alınmıştır. Bu bina için yıllık enerji yük akışı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.



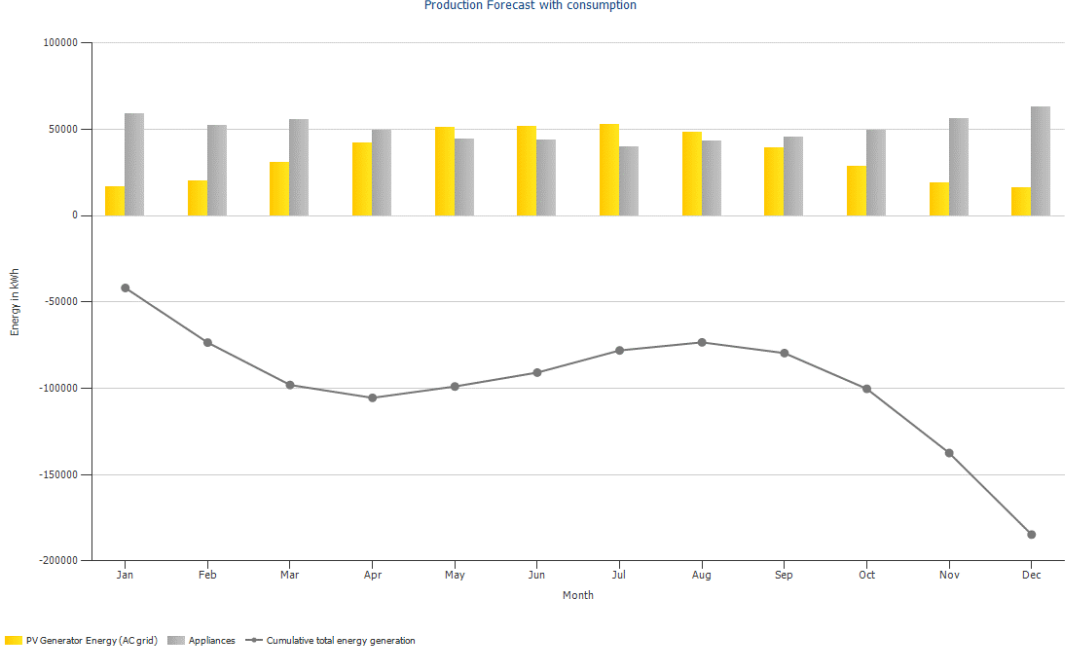
Şekil 5.19 Yük akış grafiği

Yukarıdaki enerji akış şemasına göre, çatıya kurulan PV santralin yıllık 415.312 kWh üretim gerçekleştirebileceği hesaplanmıştır. Aynı zamanda akü gruplarında 82.000 kWh enerji depolanmış ve 78.405 kWh akü gruplarından yüklerimiz beslenmiştir.

Tüketim tarafından bakacak olursak, 600.000 kWh olan tüketimin 215.076 kWh güneş panellerinden, 79.405 kWh akü grubundan, 305.502 kWh ise şebekeden alım

yapılmıştır. Aynı zamanda sistem tüketimden fazla üretim olduğu zamanlarda ise yıllık olarak 118.032 kWh şebekeye enerji satışı gerçekleştirmiştir.

Çizelge 5.2 Aylara göre üretim tüketim grafiği



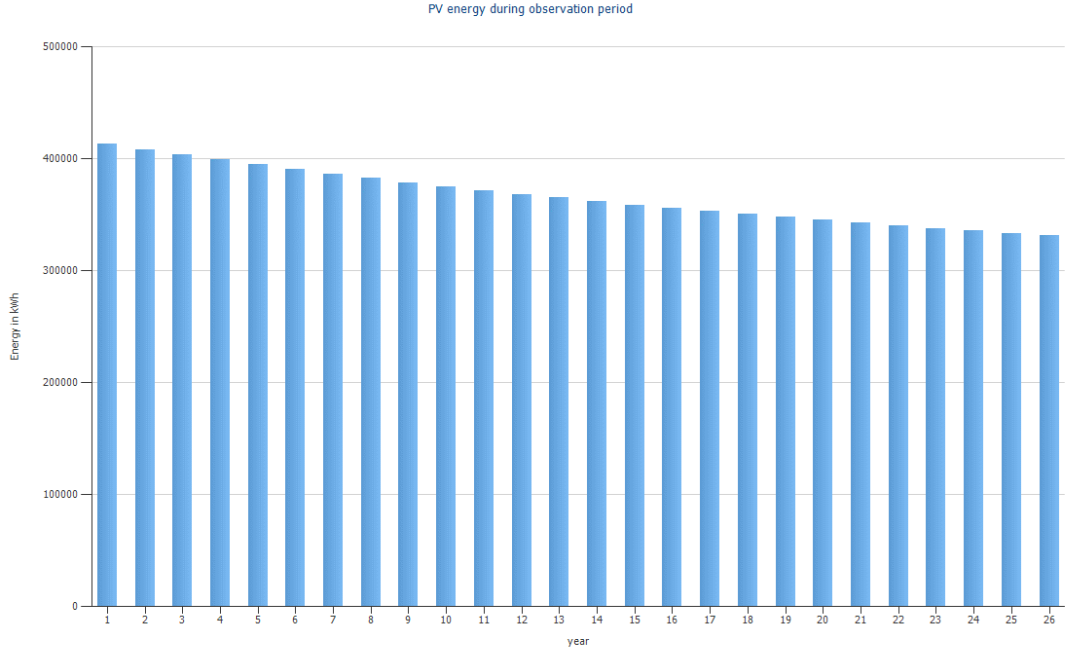
Yarıdaki tablo incelendiğinde, sarı renkli çubuklar güneş panelinden gelen üretim miktarı, gri renli çubuklar ise de tüketim miktarını ifade etmektedir. Kış aylarında üretim az olduğundan tüketim ve üretim arasında ciddi bir fark varken, yaz aylarında ise toplam 4 ay üretim miktarı tüketim miktarını aşmıştır. Yaz aylarında artan elektrik enerjisinin nedeni, ışınım miktarının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca yaz aylarında fakülte binasının elektrik tüketimi kış aylarına nazaran daha az olduğundan bu nedenle 4 ay tüketim miktarından daha fazla bir üretim gerçekleştirilmiş ve bu fazla enerji önce aküler vasıtalarıyla panellerin üretim yapmadığı fakat tüketimin olduğu zamanlarda kullanmak için depolanmıştır. Akü depolama kapasitesi dolduğunda ise sistem şebeke bağlantılı olduğundan şebekeye fazla enerjinin satışı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem çıkışındaki çift yönlü elektrik sayacı vasıtasıyla mahsuplaşma yapılabilmektedir. Ve her ay sonunda ölçülen değerlerle sistemden ne kadar elektrik alıp ne kadar sattığımızı kolaylıkla öğrenilebilmektedir.

Çizelge 5.3 Blokların üretim miktarı

Inverter- 1		
<u>Toplam Üretim Miktarı</u>	<u>110.586,94</u>	kWh
Gerilim Düşümünden Kaynaklanan Enerji Kaybı	<u>-543,43</u>	kWh
DC/AC Dönüştürücü Kaybı	<u>-2.645,81</u>	kWh
Bekleme Durumundaki Kayıp	<u>-0,26</u>	kWh
Toplam Kablo Isınmadan Kaybı	<u>-2.147,96</u>	kWh
Net Enerji Üretimi	<u>105.249,96</u>	kWh
Inverter- 2		
<u>Toplam Üretim Miktarı</u>	<u>111.127,68</u>	kWh
Gerilim Düşümünden Kaynaklanan Enerji Kaybı	<u>-608,25</u>	kWh
DC/AC Dönüştürücü Kaybı	<u>-2.612,40</u>	kWh
Bekleme Durumundaki Kayıp	<u>-0,26</u>	kWh
Toplam Kablo Isınmadan Kaybı	<u>-2.158,15</u>	kWh
Net Enerji Üretimi	<u>105.748,90</u>	kWh
Inverter- 3		
<u>Toplam Üretim Miktarı</u>	<u>114.432,17</u>	kWh
Gerilim Düşümünden Kaynaklanan Enerji Kaybı	<u>-498,14</u>	kWh
DC/AC Dönüştürücü Kaybı	<u>-2.726,86</u>	kWh
Bekleme Durumundaki Kayıp	<u>-0,28</u>	kWh
Toplam Kablo Isınmadan Kaybı	<u>-2.224,15</u>	kWh
Net Enerji Üretimi	<u>108.983,03</u>	kWh
Inverter- 4		
<u>Toplam Üretim Miktarı</u>	<u>100.202,23</u>	kWh
Gerilim Düşümünden Kaynaklanan Enerji Kaybı	<u>-435,42</u>	kWh
DC/AC Dönüştürücü Kaybı	<u>-2.491,24</u>	kWh
Bekleme Durumundaki Kayıp	<u>-0,28</u>	kWh
Toplam Kablo Isınmadan Kaybı	<u>-1.945,52</u>	kWh
Net Enerji Üretimi	<u>95.330,06</u>	kWh

Blok bazında yıllık üretim miktarına bakılırsa, yıllık en fazla üretim 105.586 kWh üretim miktarı olarak A blok gerçekleştirmiş, en düşük üretim ise de 95.330 kWh olarak D blokta gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.4 Panellerin yıllara bağlı üretim miktarı

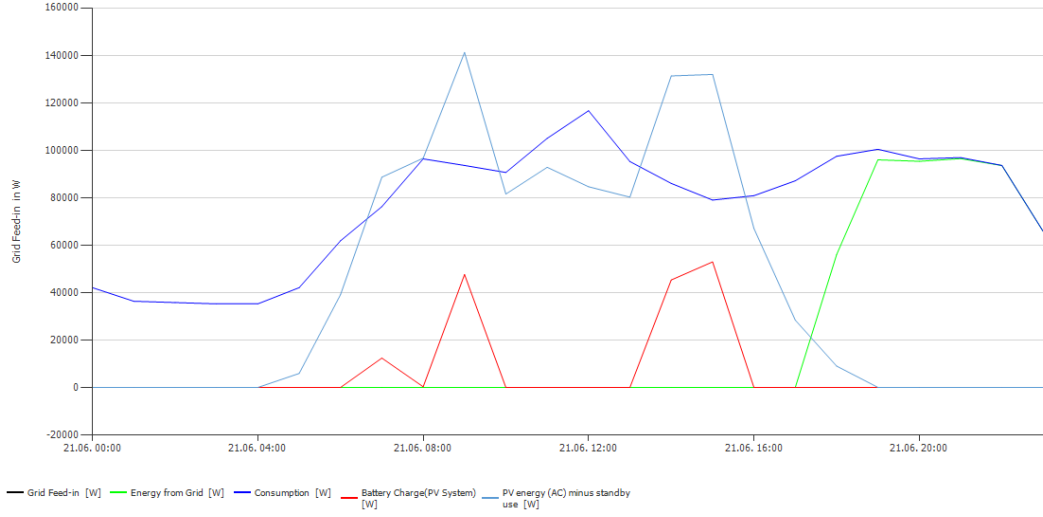


PV panellerin yıl içindeki verim miktarları da göz önünde bulundurulduğudaki 26 yıl boyunca tahmini elektrik tüketimi yukarıdaki tabloda gösterilmiştir. İlk yıl yaklaşık 415.000 kWh üretim yapan paneller yıllar geçtikte azalmakta ve 25 yıl sonunda yaklaşık 350.000 kWh üretim kapasitesine kadar düşmektedir.

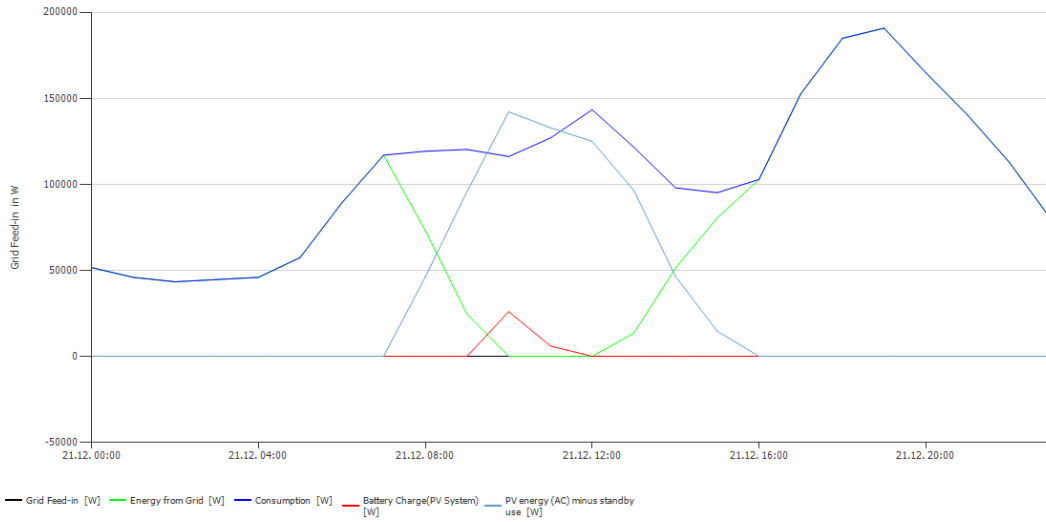
5.2.3.1 En Uzun ve En Kısa Günlerin Üretim- Tüketim Grafiği

Yıl içindeki en uzun günü olan 21 Haziran ve en kısa günü olan 21 Aralıkaki üretim tüketim şebeke alım ve akü grubunun enerji akış tabloları aşağıdaki gibidir. Bu grafikte güneş panellerindeki anlık elektrik üretimi, tüketim miktarı, akü depolama miktarı ve şebekeden almış olduğumuz enerjinin miktarı karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 21 Haziran günü üretim tüketim grafiği



Çizelge 5.6 21 Aralık günü üretim tüketim grafiği



Yukarıdaki grafiklerde 21 Haziran günü belli saatler aralığında üretim miktarı tüketim miktarını aşmış ve bu aşım miktarı kadar aküler şarj olmuştur. Güneş batmaya yakın saatlerde ise şebekeden bir miktar enerji alımı gerçekleşmiştir.

En kısa gün olan 21 Aralık gününde ise panel üretimi sabah çok geç saatte başlayıp erken saatte de üretim tamamlanmıştır. Öğlen çok kısa bir vakit üretim miktarı tüketim miktarını aşmış olup o aşım miktarı da akülerde depolanmıştır.

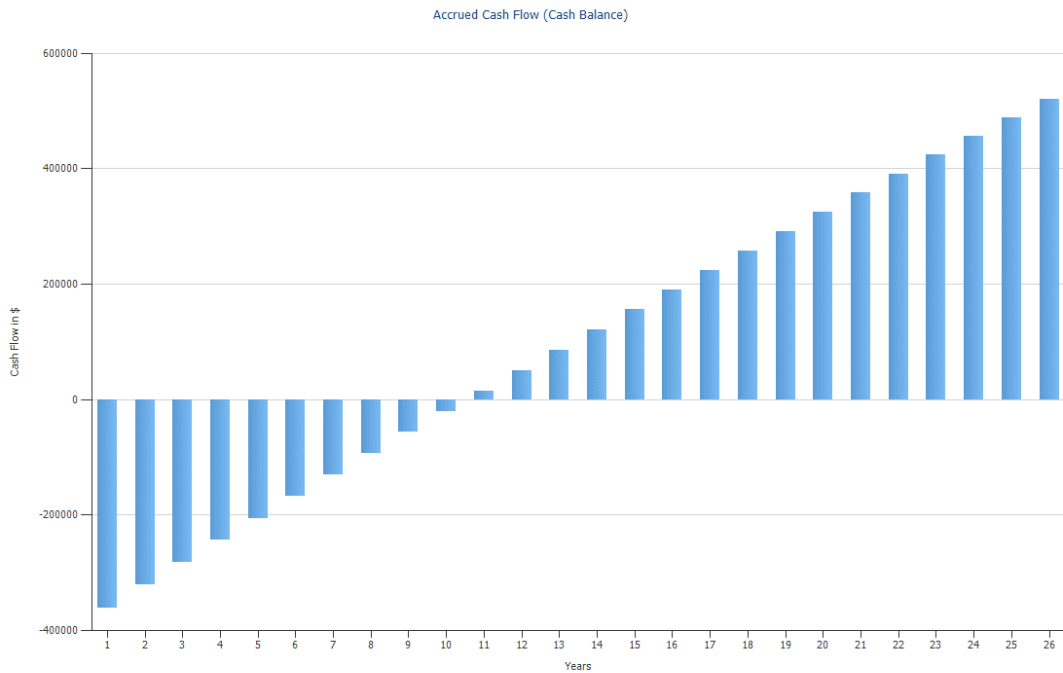
5.2.4 Sistemin Ekonomik Açısından İncelenmesi

Her pozitif bilimlerde olduğu gibi, bu mühendislik dalında da yatırım yapılacak sistemin teknik kapasitesinin yanında ekonomik açıdan da değerlendirilmesi gereklidir. Teknik olarak uygun gözükse bile bazı çıkarımlar ekonomik açıdan pek uygun olmadığından dolayı gerçek hayata uyarlanması zorlaşabilir. Bu bölümde yukarıda sistem tasarımı yapılan santralin ekonomik açıdan yorumlanması yapılacaktır.

5.2.4.1 Maliyet

Güneş santrallerinin ekonomik açıdan en büyük dezavantajlardan birisi de ilk yatırım maliyetidir. Sistem maliyetinin büyük bir kısmını oluşturan PV panel ve inverterlerin ithal edilmesi ve döviz kurundaki artışlardan dolayı sistem ilk yatırım maliyetinin yüksek olması bazı küçük yatırımcıları bu sistemi kurmaya karşı engel olmaktadır. Ancak sistemin ekonomik ömrü 25 yıl olduğunu öngörürsek, ilk yatırım maliyetinden sonra periyodik bakım maliyetleri dışında herhangi bir ekstra gider olmaması sonraki yıllardaki sistemin en büyük avantajıdır. Bu büyüklükteki sistem için yaklaşık ilk yatırım maliyeti 400.000,00 USD olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7 Nakit akış grafiği



Yukarıdaki tabloya bakıldığında başlangıçta ilk yatırım maliyetinin yıllara bağlı nakit akış şemasını görülmekte ve 11. sene sonrasında sistem kendini amorti edip sistem kar etmeye başlayacaktır.

Çizelge 5.8 Yıllara bağlı nakit akış grafiği

	<u>1.YIL</u>	<u>2.YIL</u>	<u>3.YIL</u>	<u>4.YIL</u>	<u>5.YIL</u>
Yatırım Miktarı	\$ (400.000,00)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Tüketim Maliyetleri	\$ (495,05)	\$ (490,15)	\$ (485,30)	\$ (480,49)	\$ (475,73)
Diğer Giderler	\$ (495,05)	\$ (490,15)	\$ (485,30)	\$ (480,49)	\$ (475,73)
Üretim Miktarı	\$ 40.851,14	\$ 40.386,50	\$ 39.929,21	\$ 39.487,51	\$ 39.060,89
Yıllık Kar (Zarar)	\$ (360.408,96)	\$ 39.406,20	\$ 38.958,62	\$ 38.526,53	\$ 38.109,43
Kümülatif Kar (Zarar)	\$ (360.408,96)	\$ (321.002,7)	\$ (282.044,1)	\$ (243.517,6)	\$ 205.408,18
	<u>6.YIL</u>	<u>7.YIL</u>	<u>8.YIL</u>	<u>9.YIL</u>	<u>10.YIL</u>
Yatırım Miktarı	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Tüketim Maliyetleri	\$ (471,02)	\$ (466,36)	\$ (461,74)	\$ (457,17)	\$ (452,64)
Diğer Giderler	\$ (471,02)	\$ (466,36)	\$ (461,74)	\$ (457,17)	\$ (452,64)
Üretim Miktarı	\$ 38.648,82	\$ 38.250,80	\$ 37.866,36	\$ 37.495,06	\$ 37.136,39
Yıllık Kar (Zarar)	\$ 37.706,77	\$ 37.318,09	\$ 36.942,88	\$ 36.580,72	\$ 36.231,10
Kümülatif Kar (Zarar)	\$ (167.701,4)	\$ (130.383,3)	\$ (93.440,4)	\$ (56.859,7)	\$ (20.628,6)
	<u>11.YIL</u>	<u>12.YIL</u>	<u>13.YIL</u>	<u>14.YIL</u>	<u>15.YIL</u>
Yatırım Miktarı	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Tüketim Maliyetleri	\$ (448,16)	\$ (443,72)	\$ (439,33)	\$ (434,98)	\$ (430,67)
Diğer Giderler	\$ (448,16)	\$ (443,72)	\$ (439,33)	\$ (434,98)	\$ (430,67)
Üretim Miktarı	\$ 36.789,97	\$ 36.455,37	\$ 36.132,19	\$ 35.820,02	\$ 35.518,51
Yıllık Kar (Zarar)	\$ 35.893,65	\$ 35.567,92	\$ 35.253,53	\$ 34.950,06	\$ 34.657,16

Çizelge 5.8 Yıllara bağlı nakit akış grafiği (Devamı)

Kümülatif Kar (Zarar)	\$ 15.265,03	\$ 50.832,95	\$ 86.086,47	\$ 121.036,53	\$ 155.693,68
	16.YIL	17.YIL	18.YIL	19.YIL	20.YIL
Yatırım Miktarı	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Tüketim Maliyetleri	\$ (426,41)	\$ (422,19)	\$ (418,01)	\$ (413,87)	\$ (409,77)
Diğer Giderler	\$ (426,41)	\$ (422,19)	\$ (418,01)	\$ (413,87)	\$ (409,77)
Üretim Miktarı	\$ 35.277,29	\$ 34.946,00	\$ 34.674,28	\$ 34.411,85	\$ 34.158,39
Yıllık Kar (Zarar)	\$ 34.374,46	\$ 34.101,62	\$ 33.838,26	\$ 33.584,11	\$ 33.338,84
Kümülatif Kar (Zarar)	\$ 190.068,15	\$ 224.169,77	\$ 258.008,04	\$ 291.592,15	\$ 324.930,99
	21.YIL	22.YIL	23.YIL	24.YIL	25.YIL
Yatırım Miktarı	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Tüketim Maliyetleri	\$ (405,72)	\$ (401,70)	\$ (397,72)	\$ (393,78)	\$ (389,88)
Diğer Giderler	\$ (405,72)	\$ (401,70)	\$ (397,72)	\$ (393,78)	\$ (389,88)
Üretim Miktarı	\$ 33.913,56	\$ 33.677,08	\$ 33.448,67	\$ 33.228,05	\$ 33.014,96
Yıllık Kar (Zarar)	\$ 33.102,33	\$ 32.873,68	\$ 32.653,23	\$ 32.440,48	\$ 32.235,20
Kümülatif Kar (Zarar)	\$ 358.033,32	\$ 390.907,00	\$ 423.560,23	\$ 456.000,71	\$ 488.235,91

Yıllara bağlı nakit akış tablosu yukarıdaki gibidir. Sistemin her sene üretim kapasitesine göre yıllık para akış dengesi hesaplanmıştır. 25 yıl sonunda toplam net kar 520,272.79 USD olarak hesaplanmıştır. İlk yatırım maliyetinden sonra diğer yıllar sadece ufak bir bakım ve temizlik bedeli hesaplanmıştır.

5.2.4.2 Kurulum Maliyetleri

Kurulum maliyetini özetleyecek olursak

- Proje ve mühendislik bedeli

- Resmi kuruluşlara onay masrafları
- Malzemeler (PV, inverter, DC kablo ve konnektörler, DC ve AC sistem panosu, çatı tipi montaj ekipmanları ve sarf malzemeler)
- İşçilik

Çizelge 5.9 Maliyetler

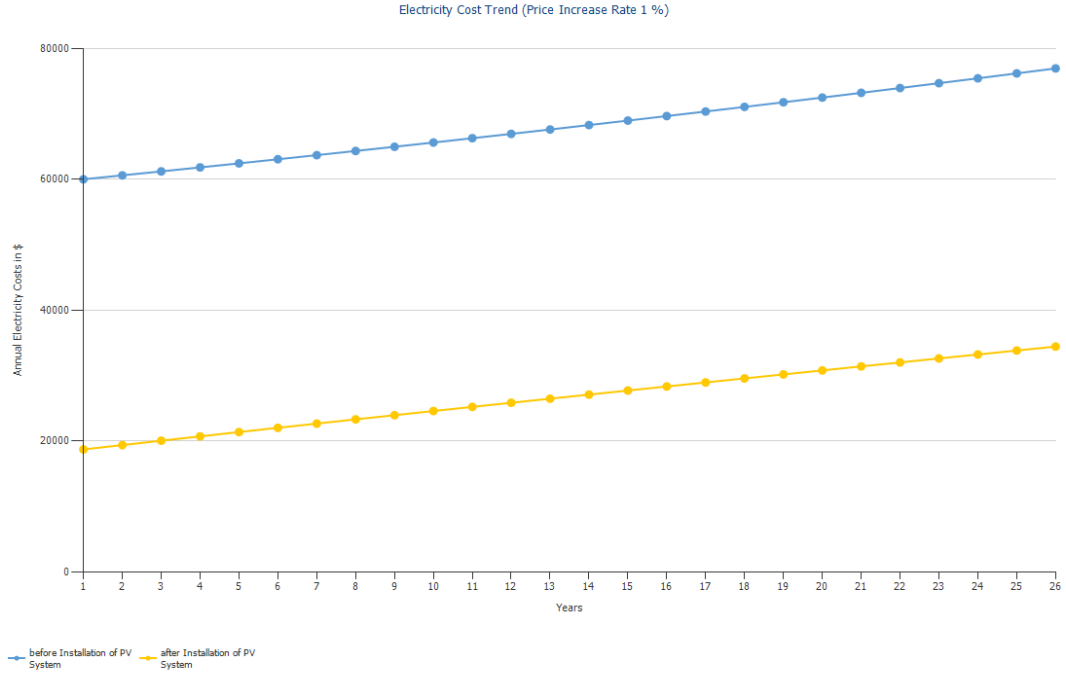
NO	İŞİN ADI	MİKTAR	BİRİM	BİRİM FİYAT	TOPLAM FİYAT
1	PROJE VE MÜHENDİSLİK BEDELİ	1	ADET	\$ 10.400,00	\$ 10.400,00
2	AKÜ GRUBU	200	kWh	\$ 200,00	\$ 40.000,00
3	SOLAR PANEL	368.000	watt	\$ 0,50	\$ 184.000,00
4	INVERTOR	368.000	watt	\$ 0,30	\$ 110.400,00
5	KABLO VE SARF MALZEMELER	368.000	watt	\$ 0,10	\$ 36.800,00
6	İŞÇİLİK	368.000	watt	\$ 0,05	\$ 18.400,00
GENEL TOPLAM					\$ 400.000,00

Sistem girdilerinin büyük bir kısmının döviz bazlı olması nedeniyle tezi ileriki yıllarda inceleyenlerin daha doğru yorumlayabilmesi açısından toplam hesaplama dolar bazlı yapılmıştır.

5.2.4.3 Santral Önce ve Sonrası Durumdaki Elektrik Fatura Grafiği

Maliyet analizlerini daha iyi anlayabilmek adına kurulmadan önce ve kurulduktan sonraki elektrik faturalarının değişimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Aşağıdaki grafik bize yıllara bağlı olarak santral kurulum öncesi ve sonrası gelebilecek elektrik faturalarını göstermektedir.

Çizelge 5.10 Santral kurulmadan önce ve sonra elektrik fatura değeri



Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi mavi renki değerler santralden önce, sarı renkli değerler ise santral kurulduktan sonraki gelen elektrik faturalarıdır. Yıllık bazlı ortalama elektrik faturalarında 40.000 USD yaklaşık bir elektrik tasarrufu söz konusu olmaktadır.

5.2.5 Ekonomik Yorumlama

Yukarıdaki hesaplardan da görüldüğü gibi, sistem kendini 12 senede amorti ettiği hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalara göre eğer bir yatırımın geri dönüş süresi 10 yıldan az ise o sistem yatırım yapılabilir seviyesinde gözükmemektedir. Akü grupları devre dışı kaldığında yaklaşık geri dönüş süresi 10 yıla tekabül etmektedir. Sistemin toplam 25 yıl çalışacağı öngörüldüğünde ilk yatırım yapıldıktan sonra 25.yılın sonunda maliyet çıktıktan sonraki kazanç 520.272,79 USD olmuştur. Buna göre sistemin ekonomik açıdan uygunluğu maliyet açısından kanıtlanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi gün geçtikçe hayatımızda daha çok yer almaya başlayacaktır. Bu tezde güneş panel sistemini, akıllı şebekeler, sistem entegrasyonu sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar, çatı tipi güneş santralin kurulum aşamasını, maliyet analizini hesaplanmış bulunmaktadır. Yapılan maliyet analizi çatı tipi bir santralinin geri dönüş süresinin yaklaşık olarak 10-12 yıl aralığında olduğunu göstermiş ve yatırım yapılabilir seviyesinde olduğu anlaşılmıştır. Bununla beraber akıllı şebekelerin yardımıyla sisteme kolayca entegre olabilen akü grupları ile de bu santral alternatif bir enerji kaynağı olarakta kullanılabilir. Gelişen teknoloji ile birlikte simülasyon programları gelişmiş, bu sayede bir sistem kurulmadan bilgisayar ortamında tüm sistem girdilerini gerçek bilgiler yardımıyla çok düşük hata paylarıyla sistemleri kurulum yapılmadan simüle edilme şansı sağlamaktadır. Bu da sistem yatırım maliyetini ve imalat süresini olabildiğince düşürmekte ve yatırımcıya kar sağlamaktadır. PV santrallerinin şebeke açısından en büyük tehlikesi invertörlerden dolayı güç kalite problemi ve oluşabilecek harmoniklerdir. Gelişen invertör teknolojisiyle standartlarda belirtilen limit değerlere uyulmalı ve şebekeyi tehlikeye atacak bir seviyede sistem çalıştırılmamalıdır. Güvenlik açısından incelendiğinde ise şebeke devre dışı iken sistemin de devre dışı sağlayacak kilitleme özelliğinin inverterde bulunması can sağlığı açısından çok önemlidir. Önümüzdeki yıllarda elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla, artık bireysel enerji ihtiyacımız daha da artması planlanmaktadır. Hali hazırda çoğu Avrupa ve Asya ülkelerinde bu sistemin kullanılması sistemin güvenli çalıştığına da ispatıdır. Diğer yandan herhangi bir fosil kaynak kullanmadan elektrik üretimi Dünyanın önünde bulunan tehlikelerden birisi olan küresel ısınmaya çok büyük

faydası bulunmaktadır. Ayrıca tüketim kaynağının hemen yanında bir üretim kaynağı oluşturmak, genel şebekelerin yük paylaşımını azaltmakta, geleneksel tek taraflı dağıtımın uzun iletim hatlarının inşaa edilmesinden dolayı gerilim düşümü ve yatırım maliyetlerinin yüksek olmasını azaltarak milli ekonomiye de önemli bir derece de fayda sağlayacaktır. Ancak bu konuda verilen teşviklerin yetersizliği nedeniyle yatırımcı tarafından ilk yatırım maliyetinin yüksek olması cazibeliğini yitirmektedir. Bakanlıkların bu konu hakkında gerekli kredi teşviklerinin verilmesi, çalışanlardan vergi muafiyeti uygulanması gibi yatırımcıyı cazip çekecek bazı fikirlerin uygulanması gereklidir. Bununla birlikte sistemin başvurusundaki kolaylığı sağlamak için, bazı prosedürler standartlaştırılmalı, mühendislik hesaplarını ehil sıfatındaki ve ilgili sertifikaları almış olan mühendisler yapmalı ve ilgili meslek odaları da sistemin sürekliliğini denetlemelidirler. Son olarak Ülkemiz olarak cari açığımızın büyük bir kısmını oluşturan enerji ithalatını azaltmak adına bu şekilde çalışmaların faydalı olacağını düşünüyorum.

KAYNAKLAR

- [1] Rashid, I.S., (2012). "Grid-Connected Photovoltaic System For Buildings" , Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [2] Şişman, N., (2018). "Türkiye'nin 2023 Yılında Toplam Elektrik Enerjisi Talebini Karşılama İçin Optimum Güneş Enerji Seçeneğinin Araştırılması" , Doktora Tezi , Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [3] Sundaram, S., Sheeba, K.N. ve Babu, J.S.C., (2016). "Grid Connected Photovoltaic Systems: Challenges and Control Solutions – A Potential Review", International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol.4 No.6 , National Institute of Technology, India.
- [4] Phuttapatimok, S., Sangswang, A., Seapan, M., Chenvidhya, D. Ve Kirtikara, K. , (2008). "Evaluation of Fault Contribution in The Presence of PV Grid-Connected Systems", Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialist Conference.
- [5] Muni, V.T. ve Lalitha, S.V.N.L., (2017). "Technical Issues of Grid Connected Solar Photovoltaic Cell – A Survey", International Science Press Ocak, 913-920.
- [6] Weiss W. ve Spörk-Dür M., (2019). "Solar Heat Worldwide Global Market Development and Trends in 2018 Detailed Market Figures 2017", AEE INTEC AEE - Institute for Sustainable Technologies, Austria.
- [7] Varınca, K.B. ve Gönüllü, M.T., (2006). "Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma", UGHEK'2006 1. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Haziran 2006, Eskişehir.
- [8] Batman, M.A. , (2001). "Elektrik Üretimi İçin Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Arttırıcı Yeni Bir Yöntem", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [9] Yıllık Enerji Tüketimi <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> 25 Mayıs 2019.
- [10] Öztürk, H.H., (2008). " Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler", Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Adana.

- [11] Ayvazoğlu, Y ve Filik, Ü.B., (2015). “ Akıllı Şebeke Sisteminin Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi için Matlab/Simulink Ortamında Modellenmesi”, ICSG Kongresi 2015, İstanbul.
- [12] T.C. Resmi Gazete, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023. (28215), 25.2.2012, 1-2.
- [13] Kul, M., (2018). “Akıllı Şebekeler ve Akıllı Şebekeler Sistemleri Uygulamaları” , Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Ankara.
- [14] TEDAŞ Genel Müdürlüğü, (2015), LÜY Kapsamında 50kWe Kadar Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesislerinin Tip Şartnamesi, Ankara.
- [15] Şimşek, B. ve Bizkevelci, E., (2015), “Fotovoltaik Güneş Elektrik Santrallerinin Alçak Gerilim Şebekesine Bağlantı Esasları”, 3. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 21-24 Kasım 2013, İzmir.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erdi EKŞİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.08.1989, Gaziantep
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : erdieksi@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üni.	2019
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üni.	2011
Lise	Fen Bilimleri	Gaziantep Anadolu Lis.	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2018-Devam Ediyor	Edc Engineers Design	Electrical Project Engineer
2011-2018	Elektrik ve Yapı Merkezi San. ve Tic. Ltd. Şti.	Proje Müdürü

