

**GÜNEŞ PİLLERİNDEN ELEKTRİK ÜRETEN
BİR SİSTEMİN ANALİZİ VE TASARIMI**

Yaşar Can ORTAÇTEPE
Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Ekim, 2011

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Yaşar Can Ortaçtepe'nin “**Güneş Pillerinden Elektrik Üreten Bir Sistemin Analizi ve Tasarımı**” başlıklı Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 26.08.2011 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Doç. Dr. NİL ARAS	
Üye :	Yard. Doç.Dr. ILGIN POYRAZ ACAR	
Üye :	Yard. Doç.Dr. BERNA ULUTAŞ	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ PİLLERİNDEN ELEKTRİK ÜRETEEN BİR SİSTEMİN ANALİZİ VE TASARIMI

Yaşar Can ORTAÇTEPE

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. NİL ARAS
2011, 85 sayfa**

Bu çalışmada, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme olanağı sağlayan güneş pili sistemleri üzerinde durulmaktadır. Güneş pillerinin çalışma prensipleri, güneş pili sistemini oluşturan elemanlar ve kullanım alanlarına göre oluşturulabilecek farklı sistemler incelenerek güneş pillerinin kapsamlı bir analizi sunulmaktadır. Dünyada güneş pili sistemlerine öncülük eden ülkeler ve bu ülkelerdeki hükümetlerin yatırımcılara sağladığı destekler araştırıldığında, Türkiye’de yatırım maliyetinin yüksek, çıkartılan yasaların da yetersiz oluşunun güneş pili sistemlerinin yaygınlaşmamasında önemli rol oynadığı görülmektedir. Çalışmada güneş pili sistemleri analiz edildikten sonra Bozbük/Milas/Muğla’da bulunan 30 konutluk bir yazlık site için şebeke bağlantılı bir güneş pili sistemi kurulum planlaması gerçekleştirilmektedir. İlgili bölgenin güneş ışıınımı verilerinden ve benzetim yönteminden yararlanılarak ne kadar elektrik enerjisi üretilbileceği, hazırlanan bir karar destek sistemi yazılımı ile belirlenmektedir. Karar destek sistemi kullanılarak elektrik enerjisi üretim değerleri, yazlık sitenin elektrik enerjisi tüketim değerleriyle karşılaştırılmakta ve ihtiyaç duyulacak güneş modülü sayısına göre farklı sistemler önerilebilmektedir. Son olarak, önerilen sistemler için ayrıntılı maliyet analizleri yapılarak, yatırımcılara sunulabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Pili, Güneş Işınımı, Benzetim, Karar Destek Sistemi.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE ANALYSIS AND DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Yaşar Can ORTAÇTEPE

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Industrial Engineering Program**

**Supervisor: Associate Prof. Dr. NIL ARAS
2011, 85 pages**

In this study, photovoltaics, which provide electricity from solar energy, were examined. A detailed analysis of photovoltaic systems was presented by examining the principles of solar cells, and the components as well as the types of photovoltaic systems that can be generated to meet specific requirements. When the laws and incentives about photovoltaic systems were investigated in those countries which lead the photovoltaic industry, the negative effects of high investment costs and the lack of incentives were determined to be the main difficulties hindering the development of photovoltaic industry in Turkey. After a detailed analysis of photovoltaic systems, the design of a grid connected photovoltaic system installation was proposed and examined for a 30-unit summer resort in Bozbük/Milas/Muğla. A decision support system was developed in order to calculate the daily electricity production values by using solar radiation data of the selected area and the simulation method. By using the decision support system, daily electricity production values were compared with the electricity consumption of the summer resort; and based on the number of solar modules that were required, different system alternatives were proposed. Finally, expanded investment analyses for each proposed system were presented.

Keywords: Photovoltaics, Solar Energy, Solar Radiation, Simulation, Decision Support Systems.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, hayat kaynağımız ve gelecekte farklı kaynak ihtiyaçlarımıza da cevap verme potansiyeline sahip olan güneş enerjisi konusunda fikirleriyle bana yol gösterdiği ve belki de bana geleceğin mesleğini kazandırdığı için danışman hocam sayın Doç.Dr.Nil ARAS’a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca desteklerini hiç esirgemeyen, fikir ve önerileriyle tez çalışmamı benimle birlikte yaşayan babam Doğan ORTAÇTEPE’ye, annem Şule ORTAÇTEPE’ye ve ablam Deniz ORTAÇTEPE’ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaşar Can ORTAÇTEPE

Ekim, 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	2
1.2. Mevcut Çalışmaların Analizi	5
1.3. Çalışmanın Amacı.....	6
2. GÜNEŞ PİLLERİ	8
2.1. Güneş Enerjisi	8
2.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi.....	10
2.2. Güneş Pillerinin Yapısı	11
2.3. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi	15
3. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİ	17
3.1. Güneş Pilleri İle Elektrik Üreten Sistemler.....	20
3.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler	20
3.1.2. Şebekeye bağlı sistemler.....	21
3.1.3. Hibrid sistemler.....	22
3.2. Güneş Pili Sistemi Kurulumu	23
3.3. Güneş Pili Sistemlerinin Ekonomik Analizi	23
3.3.1. Verimlilik.....	25
3.3.2. Sistemin kurulacağı coğrafi konum	26
3.3.3. Yatırım maliyeti	26
3.4. Güneş Pili Sistemlerinin Sağladığı Avantajlar.....	27

4. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİNE ÖRNEKLER	28
4.1. Dünyadaki Uygulamalar	28
4.2. Türkiye’deki Uygulamalar	31
4.2.1. Türkiye’nin Enerji Tüketimi ve İhtiyacının Belirlenmesi	31
4.2.2. Türkiye’nin Enerji Politikası.....	31
4.2.3. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	34
4.2.4. Türkiye’de Güneş Pili Uygulamaları	37
5. BİR YAZLIK SİTEDE GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİNİN TASARIMI	40
5.1. Uygulama Yerin Tanıtımı	40
5.2. Verilerin Elde Edilmesi.....	42
5.2.1. İncekum Sitesi elektrik tüketim değerleri	42
5.2.2. Bozbük’ün güneş enerjisi potansiyeli	43
5.2.3. Kurulum yapılacak alanın belirlenmesi	47
5.3. Güneş Modülü Seçimi.....	48
5.4. Benzetim Yöntemi	49
5.4.1. Mevcut verilerin analizi	52
5.4.2. Benzetim sonucu elde edilen güneş ışıınımı değerleri.....	54
5.4.3. Modül başı günlük elektrik üretim değerinin hesaplanması	58
5.5. Farklı Amaçlar İçin Sistem Önerileri.....	60
5.5.1. Günlük ortalama elektrik tüketimine göre sistem önerisi	64
5.5.2. Tüketim/üretim oranının en büyük olduğu aya göre.....	69
5.5.3. Kurulum alanı kısıtına göre	74
5.5.4. Sistem Önerilerinin Karşılaştırılması.....	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Güneş pili dönüşüm evreleri	10
2.2. Yarı iletken malzemelerde yasak enerji bandı	15
2.3. Fotovoltaik çalışma prensibi	16
3.1. Güneş pili sisteminde yer alan donanımlar	17
3.2. Şebekeden bağımsız sistem tasarımı	20
3.3. Şebekeye bağlı sistem tasarımı	21
3.4. Şebeke bağlantılı sistem elemanlarını gösteren diyagram	21
3.5. Hibrid güneş pili sistemi tasarımı	22
3.6. Fotovoltaik sistem maliyet grafiği	24
4.1. Dünya genelinde fotovoltaik enerji kapasitesinin yıllara göre değişimi	28
4.2. Fotovoltaik enerji üretim kapasitesinin ülkelere göre dağılımı	29
4.3. TEİAŞ kurulu gücün yakıt cinslerine göre gelişim planı grafiği	33
4.4. Kuzey yarımkürede mevsimlere göre öğlen vaktinde güneşin gelme açısı .	34
4.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	35
4.6. Türkiye aylık ortalama global radyasyon değerleri	36
4.7. Türkiye aylık ortalama güneşlenme süreleri	36
4.8. Muğla Üniversitesi kafeterya çatısında fotovoltaik sistem	38
4.9. Muğla Üniversitesi otopark çatısında fotovoltaik sistem	38
4.10. Muğla Üniversitesi Rektörlük binasına entegre fotovoltaik sistem	39
4.11. Rektörlük binasına entegre fotovoltaik sistem takip panosu	39
5.1. İncekum Sitesi	40
5.2. Fotovoltaik sistem tasarımı akış şeması	41
5.3. İncekum Sitesi 2010 yılı elektrik tüketim değerleri	42
5.4. Muğla ili güneş enerjisi potansiyeli atlası	43
5.5. Muğla ve Aydın için aylık ortalama güneşlenme süreleri	44
5.6. İncekum Sitesi otopark alanı	47
5.7. Benzetimi akış şeması	50
5.8. Yazılım akış şeması	51
5.9. Yazılım açılış ekranı	51

5.10. Ocak ayı yazılım analiz çıktısı	52
5.11. Aydın ili aylara göre ortalama güneş ışıınımı grafiği	53
5.12. Aydın ili aylara göre standart sapma grafiği	53
5.13. Ocak ayı için benzetim sonucu elde edilen ışıınım değerleri analizi	54
5.14. Yazılım sistem önerisi veri girişı	60
5.15. Modül sayısının yazılım tarafından hesaplanması	65
5.16. İlk sistem önerisi için elde edilen sonuçlar	66
5.17. İlk sistem önerisi için yatırım analizi	67
5.18. Şebekeye satış gerçekleşmediği durum için yatırım analizi	68
5.19. Şebeke bağlantısı yerine akü kullanılan durum için yatırım analizi	68
5.20. Modül sayısının yazılım tarafından tespit edilmesi	70
5.21. İkinci sistem önerisi için elde edilen sonuçlar	71
5.22. İkinci sistem önerisi için yatırım analizi	72
5.23. Şebekeye satış gerçekleşmediği durum için yatırım analizi	73
5.24. Şebeke bağlantısı yerine akü kullanılan durum için yatırım analizi	73
5.25. Modül sayısının yazılım tarafından tespit edilmesi	74
5.26. Üçüncü sistem önerisi için elde edilen sonuçlar	75
5.27. Üçüncü sistem önerisi için yatırım analizi	76
5.28. Şebekeye satış gerçekleşmediği durum için yatırım analizi	77
5.29. Şebeke bağlantısı yerine akü kullanılan durum için yatırım analizi	77
5.30. Şebekeyle olan alışverişin modül sayısına göre değişimi	79
5.31. Modül sayısına göre tüketimin karşılandığı gün sayısı	80
5.32. Modül sayısına göre maliyet yüzdeleri	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Kristal yapılı güneş pillerinin verimlilik değerleri.....	13
2.2. İnce film teknolojili güneş pillerinin verimlilik değerleri.....	14
3.1. Elektrikli cihazlar güç sarfıyatı tablosu.....	19
4.1. Enerji kaynağına göre elektrik üretim tarifiesi	32
4.2. Fotovoltaik enerji yerli üretim katkısı.....	32
4.3. TEİAŞ kurulu gücün yakıt cinslerine göre gelişim planı.....	33
4.4. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	37
5.1. İncekum Sitesi 2010 yılı elektrik tüketim değerleri.....	42
5.2. Muğla ve Aydın illeri için aylık ortalama güneşlenme süreleri.....	44
5.3. Aydın ili aylık güneş ışıınımı verileri(MJ/m ²)	45
5.4. Aydın ili aylık güneş ışıınımı verileri(kWh/m ²).....	46
5.5. Seçilen güneş modülüne ait bilgiler	48
5.6. Mevcut verilerin ay bazında analizi	52
5.7. Mevcut ışıınım verileriyle benzetim sonuçlarının karşılaştırılması	55
5.8. Benzetim sonucu elde edilen güneş ışıınımı değerleri (MJ/m ²).....	56
5.9. Benzetim sonucu elde edilen güneş ışıınımı değerleri (kWh/m ²).....	57
5.10. Modül başına net elektrik enerjisinin hesaplanması örneği	59
5.11. Modül başına üretilen günlük net elektrik enerjisinin dökümü	59
5.12. İnvertör fiyat listesi	61
5.13. Akü ve şarj regülatörüne ait özellikler	62
5.14. Modül başı günlük ortalama elektrik üretim değerleri.....	64
5.15. İncekum Sitesi 2010 yılı elektrik tüketim ortalamaları.....	64
5.16. Belirlenen modül sayısına göre analiz sonucu	65
5.17. Aylık elektrik tüketim ve tahmini üretim değerlerinin karşılaştırılması	69
5.18. Ağustos ayı modül başı elektrik üretim değerleri	70
5.19. Belirlenen modül sayısına göre analiz sonucu	71
5.20. Belirlenen modül sayısına göre analiz sonucu	75
5.21. Sistem önerilerinin karşılaştırılması.....	78
5.22. Farklı şebeke bağlantısı seçenekli sistem önerilerinin karşılaştırılması	78

KISALTMALAR

W	:	Watt
KW	:	KiloWatt
GW	:	GigaWatt
TW	:	TeraWatt
KWh	:	KiloWatt Saat
MW	:	MegaWatt
MJ	:	MegaJul
V	:	Volt
AC	:	Alternatif Akım
DC	:	Doğru Akım
TET	:	Ton Eşdeğeri Taşkömürü
TEP	:	Ton Eşdeğeri Petrol
\$	:	Amerikan Doları
£	:	Pound
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
TEİAŞ	:	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
GEPA	:	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GÜNAM	:	Ortadoğu Teknik Üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma Merkezi

1. GİRİŞ

Dünyamız gün geçtikçe değişmektedir. Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere paralel olarak artan enerji ihtiyacı, kaynaklarımızın hızla tükenmesine yol açmaktadır. Günümüzde tükenmeye yüz tutmuş, sınırlı erişime sahip ve aynı zamanda çevre düşmanı bir enerji kaynağı olan fosil yakıtlar, uzun yıllar boyunca çevremize ve bize zarar vermiş, sağlık tehdidinden işgallere, savaşlardan iklim değişimine kadar geniş bir yelpazede etkili olmuştur.

Yapılan araştırmalar, dünyadaki petrol rezervlerinin yaklaşık olarak 43 yıl, doğalgazın 65 yıl, kömür rezervlerinin 228 yıl, uranyumun ise 43 yıl yetecek kadar kaldığını göstermektedir [1].

1973 yılındaki petrol krizinden sonra yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşan bilimsel çalışmalar, bu krizin aşılmasıyla duraksamış, çalışmalar laboratuvar ortamıyla sınırlı kalmıştır.

Yakın geçmişte hayatımıza girmiş olan nükleer enerji kavramı, Çernobil faciasının yol açtığı sonuçlar ile zihinlere kazınmışken, 2011 yılı Mart ayında Japonya'da gerçekleşen deprem ve tsunami felaketi neticesinde bölgedeki nükleer reaktörlerde patlamalar yaşanmış ve radyasyon sızıntısı tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Bölgedeki halk tahliye edilirken nükleer felaketin doğuracağı sonuçların izleri yıllarca silinmemektedir. Gelişmiş ülkeler nükleer politikalarını tekrar gözden geçirip nükleer reaktörleri kapatma ya da elden geçirme çalışmalarını hızlandırmışken, ülkemizde nükleer reaktör kurulum çalışmalarının gündeme gelmesine anlam vermek oldukça güçtür.

Nükleer enerji, fosil yakıtlar gibi enerji kaynaklarının karşısında ise güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle gibi temiz, yenilenebilir ve güvenilir enerji kaynakları yer almaktadır. Bu enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin ayrı bir yeri vardır. Yeryüzünden yüzbinlerce kilometre uzaklıkta bulunan güneş, nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. Temiz bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi, güneş pilleri tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Güneş pilleri çok yeni bir teknoloji olmasa da geçmişte maliyetlerin yüksek olması sebebiyle kullanım alanları oldukça sınırlı kalmış,

günümüzde teknolojiadaki ilerlemeler ve maliyetlerdeki düşüşlerle birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, güneş enerjisinden elektrik üretilmesine olanak sağlayan güneş pili sistemleri incelenmekte ve Bozbük/Milas/Muğla mevkiinde yer alan bir yazlık site için şebeke bağlantılı güneş pili sistemi kurulumu analiz ve planlama çalışması gerçekleştirilmektedir.

1.1. Literatür Taraması

Lesourd [2], şebeke bağlantılı güneş pili sistemlerini ekonomik açıdan ele aldığı çalışmasında, A.B.D., Avrupa ve Japonya'nın güneşlenme süresi fazla olan bölgeleri ile ortalama seviyede güneşlenme süresine sahip bölgeleri ele alarak birbirleri arasında birim maliyet karşılaştırması yapmakta ve Güney Avrupa koşullarında birim maliyetin en düşük düzeye geldiğini hesaplamaktadır. Ayrıca güneş pili sistemlerinin birim fiyatının yıllara göre değişimini ele alarak diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırmakta ve 1997 yılı koşullarında güneş pili sistemlerinin diğer enerji kaynaklarından 3-4 kat daha pahalı bir enerji türü olduğu sonucuna varmaktadır. Buna ek olarak güneş pili sistem ömrünün artırılması halinde birim maliyetin %15-%20 dolayında azalacağı öngörüsünde bulunmaktadır.

Alam ve arkadaşları [3], sistem dinamikleri metodolojisini kullanarak güneş ışıınımı verilerinin benzetim modelini geliştirmişlerdir. Çalışmada elde ettikleri sonuçlar benzer çalışmalarda elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılarak duyarlılık analizi çalışması yapılmaktadır. Bu çalışma sonucunda Bengladeş için güneş ışıınımı değerlerinin gün bazında öğlen saatlerinde ve yıl bazında Nisan-Mayıs aylarında en yüksek seviyeye çıktığı tespit edilmiştir.

Chouder ve arkadaşları [4], şebekeye bağlı bir güneş pili sisteminde yer alan invertör davranışlarının benzetim yöntemiyle irdelenmesi konusunda bir çalışma yürütmektedir. Çalışmada olası sistem davranışları gözden geçirilerek özellikle şebeke kaynaklı sorunların ele alınabilmesine yönelik bir benzetim çalışması gerçekleştirilmektedir. Çalışma sonucu elde edilen benzetim verileri

yorumlandığında, invertör çıkış voltajının ana akım ve voltaj değerlerinde yaşanan anlık değişimlerden etkilendiği vurgusu göze çarpmaktadır.

Altaş ve Sharaf [5], Matlab/Simulink programı yardımıyla güneş pili sisteminin modellenmesi üzerine bir çalışma yürütmektedir. Güneş ışıınımı ve sıcaklık değerlerindeki değişimlerin elde edilen enerji miktarında yarattığı dalgalanmalar bilinmekte olup bu çalışmada bu etkenler ele alınarak ve güneş pillerinin basit devre eşitlikleri kullanılarak bir model geliştirilmektedir. Oluşturulan devre sistemi tabanlı model ile sistem parametrelerinin benzetimi gerçekleştirilerek sistem analizi sonuçlarının daha sağlıklı olarak elde edilmesi hedeflenmektedir.

Benatallah ve arkadaşları [6], bir güneş pili sisteminin büyüklüğünün belirlenmesi ve elde edilecek değerlerin analiz edilmesi amacıyla benzetim modeli oluşturdukları bir çalışma gerçekleştirmektedir. Kullanılan modelde, farklı sistem bileşenlerinin performans karakteristiklerinin elde edilmesi, sistemin optimum performansının tespit edilmesi ve farklı sistem tasarımlarından elde edilen sonuçların karşılaştırılması üzerinde durulmaktadır. Buna ek olarak hazırlanan yazılım, kullanıcının herhangi bir anda elde edilen elektrik enerjisi ile tüketilen elektrik enerjisini karşılaştırabilmesine olanak sağlamaktadır.

Alafodimos ve arkadaşları [7], güneş pili sistem davranışlarını anlayabilmek amacıyla 3-fazlı invertör ile şebekeye bağlı 10kW gücündeki bir sistemin Matlab/Simulink programıyla benzetimi konusunda bir çalışma yürütmektedir. Benzetim aşamasında ilgili bölgenin saat bazında sıcaklık ve güneş ışıınımı ölçümleri ile farklı güç çıkışı seçenekleri ışığında invertör çıkış gücünün değişimi grafiksel gösterimlerle ele alınmaktadır. Çalışma sonucunda, araştırmacılar gelecekte invertör tasarımlarının geliştirilmesi ve verimliliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların yoğunlaşması gerektiği hususunu vurgulamaktadır.

Mengi ve Altaş [8], geliştirdikleri model ile güneş pili uygulamalarındaki sistem destek elemanlarını Matlab/Simulink ortamında ortak bir devre üzerinde birleştiren bir çalışma yürütmektedir. Geliştirdikleri model, gün ışığı ve sıcaklık gibi faktörlerde meydana gelecek değişikliklerin ölçülmelerini gerektirmeden bu verileri içeren genel kullanım amacıyla hazırlanmış bir devre modelidir. Yapılan

Çalışma ile gün ışığındaki artışın modül çıkış gücünü arttırdığı, sıcaklıktaki artışın ise modül çıkış gücünü azalttığı sonucuna varılmaktadır.

Muhida ve arkadaşları [9], Malezya'nın Putrajaya kentindeki müstakil bir eve güneş pili sisteminin entegre edilmesini konu alan bir çalışma gerçekleştirmektedir. Araştırmacılar geliştirdikleri örnek sistemde 60 adet güneş modülü kullanarak aylık ortalama 255 kWh elektrik enerjisi elde etmeyi hedeflemektedir. Sistemin performansının arttırılması için benzetim araçlarından faydalanılmakta ve panellerin bakış yönünü ve eğim açılarının sistem performansına doğrudan etki ettiği tespit edilmektedir. Çalışma sonucunda güneş pili sisteminden elde edilecek elektrik enerjisi miktarı yıllık 2800 kWh olarak hesaplanırken, bunun ekonomik getirisinin yıllık 279 dolar olacağı öngörülmektedir.

Hernanz ve arkadaşları [10], DigSilent PowerFactory yazılımını kullanarak güneş pili sistemlerinin performans benzetimi üzerine bir çalışma yürütmektedir. Bu alışma ile güneş pili sisteminin farklı işletim koşullarında nasıl bir davranış sergileyeceği sorusunun yanıtı aranmaktadır. Çalışmada, yazılım tarafından hesaplanan akım ve voltaj parametrelerindeki değişim verilerine erişim kolaylığına ve yazılımın getirdiği hız, esneklik ve sağlamlık gibi üstünlüklere değinilmektedir.

Hamad ve Alsaad [11], şebekeye bağlı bir güneş pili sistemi tasarımımda ilgili alandaki güneş ışınımı ve elektrik enerjisi tüketimi verilerinden yola çıkarak saat bazında üretilebilecek elektrik enerjisi miktarını ve şebekeyle sistem arasında gerçekleşecek elektrik enerjisi alışverişinin benzetimini gerçekleştiren bir yazılım geliştirmektedir. Yazılımda kullanılan parametreler kullanıcı tarafından değiştirilebilmekte ve farklı sistem tasarımlarının benzetimi gerçekleştirilebilmektedir. Buna ek olarak güneş pili sistem tasarımlarının özelleştirilmesiyle elde edilen bulgular, yatırım analizi çalışmalarıyla da desteklenmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen yazılım ürünü, güneş pili sistemlerinin kurulumu aşamasında belirlenen parametreler ışığında sistem davranışlarını modelleyerek yatırımcılara yol göstermektedir.

Qoaidar ve Steinbrecht [12], Mısır'ın güney kesiminde yer alan kurak bir bölgedeki şebekeden bağımsız tarımsal sulama sisteminin tüm elektrik enerjisi ihtiyacının güneş pili sisteminden karşılanmasının ekonomik analizini gerçekleştiren bir çalışma yürütmektedir. Elde edilen sonuçlar, performans göstergeleri ve ekonomik getiriler bakımından mevcut jeneratörlü sistemler ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda, güneş enerjisi birim maliyetinin jeneratör birim maliyetine göre çok daha düşük olacağı tespit edilmektedir. Her geçen gün yükselen petrol fiyatları ve ilgili bölgenin güneş ışınlamı açısından çok elverişli durumda olması bu sonuca etki eden en önemli faktörler olarak ön plana çıkmaktadır.

Patel ve arkadaşları [13], güneş pillerinin aydınlatma sistemlerinde uzun süreden beri kullanılmasına rağmen, özellikle ev aydınlatma sistemlerinde güneş pilinden elde edilen doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi gerekliliğinden ve bu durumun verimliliği azaltmasından dolayı çok fazla yaygınlaşmadığı noktasından yola çıkarak güneş enerjisi kaynaklı LED aydınlatma sistemlerini ele alan bir çalışma gerçekleştirmektedir. Buna göre, LED aydınlatma sistemleri, yaygın kullanılan diğer aydınlatma sistemleri ile karşılaştırılarak güneş pili sistemindeki kullanılabilirlikleri test edilmektedir. Bu karşılaştırma sonucunda ise şu an için LED aydınlatma sistemlerinin rekabet yaratacak düzeyde olmadığı ancak gelecekteki teknolojik gelişmeler ışığında LED aydınlatma sistemlerinin tercih edilir düzeye geleceği savunulmaktadır.

1.2. Mevcut Çalışmaların Analizi

Bir üst başlıkta güneş pili sistemleri, güneş pili sistemlerinin ekonomik analizi ve güneş pili sistemlerinin belirli parametreler ışığında benzetiminin gerçekleştirilmesi konularında çeşitli çalışmalar özetlenerek sunulmaktadır. İncelenen çalışmalarda göze çarpan başlıca noktalar aşağıda listelenmiştir:

- Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemler için maliyet analizleri gerçekleştirilmektedir.
- En iyi sistem koşullarının tespit edilmesi ve belirlenen koşullarda sistem performansının eniyilenmesi amacıyla Matlab/Simulink programı kullanılarak benzetim modelleri oluşturulmaktadır.

- Benzetim metodu kullanan çalışmalarda güneşlenme potansiyeli ve sıcaklık değişim değerleri, benzetim modelinin ana parametrelerini oluşturmaktadır.
- İnvertör çıkış gücünün tespiti ve farklı koşullara nasıl tepki verdiği, verimlilik analizinde önemli bir etken olarak ele alınırken, invertör tasarımlarının geliştirilerek verimliliğin arttırılabileceği öngörülmektedir.

Aşağıdaki listede ise incelenen çalışmalarda eksik görülen noktalar yer almaktadır:

- Sistem performansı ele alınırken, sistemi bir bütün olarak ele almak yerine belirli elemanların performans parametrelerine yoğunlaşmaktadır.
- Kurulacak güneş pili sisteminin hesaplanmasında ortamın fiziksel koşulları ve kurulum yerinin seçimi çoğu çalışmada göz ardı edilmektedir.
- Güneş ışıınımı verileri az sayıda çalışmada saat/gün bazında ele alınırken, birçok çalışmada ise aylık/yıllık verilerden, ortalama ve genellemelerden faydalanılmakta bu da sonuçların geçerliliğini kısıtlamaktadır.
- Sistemlerin maliyet analizleri gerçekleştirilirken özellikle şebeke bağlantılı sistemler için, şebekeyle gerçekleştirilecek elektrik enerjisi alışverişinin getireceği ekonomik faydalara değinilmediği ve yatırım maliyetinin geri dönüş süresinin hesaplanması hususunda çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir.

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma temel olarak, yazlık bir sitede şebeke bağlantılı güneş pili sistemi kurulum planlamasını ve analizini konu almaktadır. Günlük güneş ışıınımı verileri ve sistem parametreleri ışığında elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı benzetim yöntemi kullanılarak hesaplanmaya çalışılmaktadır. Bu süreçte veri girişi/analizi, benzetim, sistem önerisi ve yatırım analizi modüllerini içinde barındıran bir bilgisayar yazılımı hazırlanmıştır.

Bu çalışmada mevcut çalışmalardan farklı olarak ele alınan konular aşağıda listelenmiştir:

- Mevcut alışmalar genellikle bir ev ya da basit bir sistem baz alınarak yrtlmekteyken bu çalışmada 30 haneli yazlık bir sitenin tüm ihtiyaını karşılayabilecek büyük ölçekli bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir.
- Kurulumu yapılacak güneş pili sisteminin yatırım maliyeti analizlerinin yanında, yatırımın geri dönüşü, şebeke bağlantılı sistemlerde şebekeyle gerçekleşecek elektrik enerjisi alışverişi ve bunun ekonomik, ve ekolojik açıdan sağlayacağı faydalar yeni bir bakış açısı olarak değerlendirilebilir.
- Hazırlanan yazılım, sistem analizi sürecinde esneklik ve kontrol edilebilirlik sağlarken yatırımcılar için de bir karar destek sistemi oluşturulması hedeflenmiştir.
- Farklı bilim dallarında, güneş pilinin yapısını oluşturan malzemelerin seçimi, güneş pillerinin verimliliğinin nasıl arttırılabileceği, invertör verimliliğine etki eden faktörler gibi daha teknik konular sıkça işlenmekteyken, bu çalışmada mevcut veriler ışığında benzetim metodu kullanılarak bir ekonomik analiz gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.
- Güneş ışınımı verilerinin benzetiminde çok fazla tercih edilmeyen Monte Carlo benzetim metoduna ek bir yaklaşım getirilerek ondalıklı değerlerin aralık bazında sınıflandırılabilmesi sağlanmıştır.
- Güneş ışınımı verileri günlük olarak ele alınmış ve bir yıl boyunca her gün için ne kadar elektrik enerjisi üretilbileceği, ne kadarının şebekeden karşılanacağı ve ne kadarının şebekeye satılacağı tespit edilebilmektedir.

Bir sonraki bölümde güneş enerjisi ve güneş enerjisinden faydalanma yolları üzerinde durulurken, üçüncü bölümde güneş pillerinin yapısı, tarihçesi, kullanım alanları, güneş pili yapımında kullanılan malzemeler ve güneş pili sistemleri gibi başlıklar üzerinde durulmaktadır. Dördüncü bölümde dünyada güneş pili uygulamalarından ve bu teknolojiye öncülük eden ülkelerden bahsedilirken, beşinci bölümde Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve Türkiye'deki kurulu güneş pili sistemlerinden örnekler ele alınmıştır. Altıncı bölümde bahsi geçen yazlık site için veri toplanması, verilerin analizi, benzetim çalışmaları, sistem nerileri ve yatırım analizi gibi çalışmalar yürütülmüş olup, yedinci bölümde sonuçlar derlenerek çalışma sonlandırılmıştır.

2. GÜNEŞ PİLLERİ

2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneş çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan ışıma enerjisidir. Gençoğlu ve Cebeci [14] tarafından yapılan araştırmalara göre güneşten dünyaya gelen enerjinin yoğunluğu, atmosferin üzerinde m^2 başına 1,35 kW kadardır. Bu yoğunlukta dünya çapının kapladığı alana gelen güneş gücü 178109 MW düzeyindedir. Dünyanın tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi, $1,22 \times 10^{14}$ TET ya da $0,814 \times 10^{14}$ TEP gibi görkemli boyuttadır. Bir başka anlatımla, bir yılda gelen güneş enerjisi miktarı, bilinen kömür rezervinin 50 katı ve bilinen petrol rezervinin ise 800 katı kadardır.

Meyers [15], güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmede kullanılan iki farklı yöntem olduğunu vurgulamaktadır. Birincisi uygun ayna sistemleri vasıtasıyla güneş ısısının yoğunlaştırılıp elektrik santralini beslemesi temeline dayanan ısı termodinamik enerjidir. Bu sistemler ülkemizin özellikle güney kesiminde oldukça yaygındır. Bu sistemden yılın en az 6 ayında faydalanılmaktadır. İkincisi ise güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesini sağlayan fotovoltaik enerjidir [15]. Fotovoltaik, photon (ışın) ve volt (voltaj) kelimelerinden türemiş olup, güneş ışınlarından elektrik üretimine vurgu yapmaktadır.

1980’li yıllarda uygulanmış olan ısı termodinamik enerji, rüzgar enerjisiyle aynı kaderi paylaşmış ve maliyet açısından fosil yakıtlarla rekabet içerisinde olamamıştır. Ancak fotovoltaik enerjiyi de aynı sonun beklediğini düşünmek yanlış olacaktır. Çünkü ısı termodinamik enerji ve rüzgar enerjisi gelişimlerini tamamlamış ve maliyet kalemlerini azaltmaya yönelik inovasyonlara kapanmıştır. Fotovoltaik enerjide ise durum tam tersidir. İnovasyonlar devam etmekte, maliyetler gün geçtikçe azalmakta ve güneş enerjisinden faydalanma bilinci gelişim göstermektedir.

Bunlara ek olarak fotovoltaik enerji, çevre dostudur, yenilenebilirdir, modülerdir, gelişime açıktır, güvenilir ve dayanıklı olup bakım masrafı çok azdır. Güneş pillerinde en sık kullanılan yarı iletken olan silisyum ise yeryüzünde en çok bulunan elementlerden biridir.

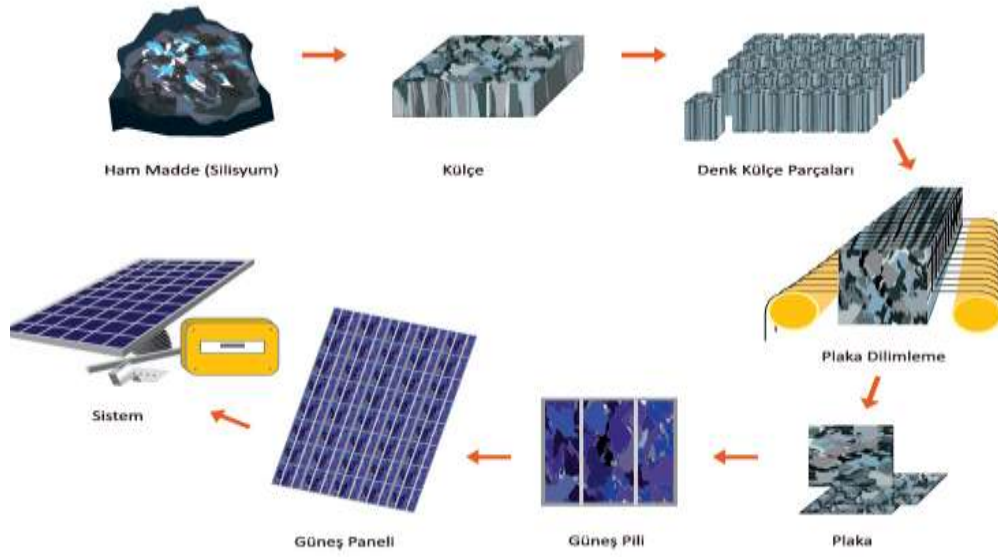
1 kW kapasiteli bir güneş pili sistemi her ay kömür madenlerinden yaklaşık 70 kg daha az kömür çıkarılmasını, atmosfere 140 kg daha az karbondioksit salınımını ve su tüketiminin 400 lt azalmasını sağlamaktadır [16].

Bu avantajlarının yanında fotovoltaiik enerjinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. En önemli sorun güneşsiz günlerde ve tabi ki geceleyin elektrik üretiminin olamaması ve güneşli günlerde bile güneş ışınlarının değışkenlik gösterebilmesidir. Üretilen elektrik enerjisini depolayabilen ve elektrik üretilemeyen durumlarda depoladığı elektriğı sisteme aktarabilen aküler maliyeti arttırmakla beraber, bünyelerinde barındırdıkları toksik bileşenler ve sülfirik asit gibi maddeler nedeniyle fotovoltaiik enerjinin temel ilkelerinden olan temiz enerji kavramını az da olsa zedelemektedir. Ancak şebekeye bağıli sistemlerin hayata geçmesi durumunda akü ihtiyacı büyük oranda ortadan kalkacaktır.

Güneş pilleri (fotovoltaiik piller) , yüzeylerine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürebilen, yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde olabilen güneş pillerinin alanları genellikle 1-1,5 m² civarında, kalınlıkları 0,2-0,4 mm arasında ve verimlilikleri yapısında bulunan yarı iletken malzemeye bağıli olarak %5 ile %20 arasında değışmektedir [21]. Laboratuvar ortamında daha büyük verimlilik değeri elde edilebilmektedir ancak maliyetler, henüz seri üretime geçilecek kadar düşmemiştir.

Güneş pilleri fotovoltaiik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Yani üzerlerine güneş ışığı düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Güneş ışınlarının yoğunluğu ve geliş açısı üretilebilecek elektrik akımı miktarını doğrudan etkilemektedir. Üretilen elektrik enerjisi miktarını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaiik modül adı verilir [17].

Güneş pillerinin elde edilmesi ve günlük hayatta kullanılabilecek düzeyde bir modül ya da sistem haline gelebilmesi için ilgili hammaddenin çeşitli evrelerden geçmesi gerekmektedir. Hammadde sıkıştırılarak kalıp haline getirildikten sonra dilimlenir. Elde edilen plakalar da güneş piline dönüştürölür. Bu evrelerin anlatıldığı şema Şekil 2.1’de olduğu gibidir.



Şekil 2.1. Güneş pili dönüşüm evreleri

Güneş pilleri ile şarj regülatörü, invertör, akü gibi destek elemanlarının bir araya gelmesiyle bir güneş pili sistemi oluşturulur. Elektriğe ihtiyaç duyulan her türlü ortamda uygulanabilir olan bu sistemin ilk uygulamaları uzay teknolojileri ve telekomünikasyon alanlarında gerçekleştirilmiştir. Bununla beraber sokak aydınlatmasında, su pompa cihazlarında ve yerleşim yerlerinden uzak bölgelerde sıkça kullanılmaktadır. Günümüzde güneş pili sistemlerinin evlerde kullanımına yönelik önemli adımlar atılmış olup, bir kaç yıla kadar özellikle teşvik yasasının çıkmasıyla beraber bu sistemlerin yaygınlaşması beklenmektedir.

2.2. Güneş Pillerinin Tarihçesi

Güneş pilleri aslında oldukça eski bir teknolojidir ve gelişimi yüzyıllardır sürmektedir. Kullanımı yaygın olmadığı için laboratuvar ortamıyla sınırlı kalan güneş pilleri yeni bir teknolojiymiş gibi lanse edilmesine rağmen ilk ortaya çıkışı 1800'lü yıllara kadar uzanmaktadır.

1839'da Paris Doğal Tarih Müzesinde Uygulamalı Fizik Profesörü Alexander Edmond Becquerel platin tabakalar üzerinde yaptığı bilimsel çalışmalar sırasında ilk fotovoltaik etkiyi saptamıştır. Becquerel'in yaptığı çalışmaların ışığında 1873'te Willoughby Smith selenyumun ısı iletkenliğini

keşfederken, 1877'de W.G. Adams ve öğrencisi Richard Day yaptıkları çalışmalar sonucunda selenyumun ışığa maruz kalması sonucu elektrik üretebildiğini tespit etmişlerdir. Elektrikli aletleri çalıştırmaya yetecek kadar elektrik üretmeseler de katı maddelerin ısıtılmadan ve de hareketli parçalar olmadan da fotovoltaiik etki oluşturabileceğini kanıtlamış oldular. 1883'te Charles Fritts selenyum kullanarak ilk ciddi güneş pilini yapmış oldu. Bu pilin verimi ancak %1 dolaylarındaydı. 1905 yılında Albert Einstein güneş etkisiyle elektrik akımı oluşumuna yönelik bir makale yayınladı. 1916 yılında Robert Millikan, fotovoltaiik etkinin deneysel olarak kanıtlanmasını sağlarken, Audobert ve Stora 1932 yılında Cadmium-Selenide (CdS) kullanarak uzun bir süre kullanılacak olan fotovoltaiik bir yöntem keşfetmiş oldu. 1954'de Chapin, Pearson ve Fuller silisyumun fotovoltaiik etkisini keşfettiler. Böylece % 6 verimli bir güneş pili üretmeyi başardılar [18].

Fotovoltaiik enerji 1953-1954 yıllarında ilk kez uzaya fırlatılan uyduların ihtiyacı olan elektriği güneşten sağlaması amacıyla uzay bilimlerinde kullanılmıştır. Evlerde ve endüstriyel uygulamalardaki ilk denemeler ise 1970'li yıllarda gerçekleştirilmiştir [2].

1980 yılında A.B.D'de verimliliği %10'dan daha fazla olan ilk ince film güneş pilleri üretilirken 1982'de ilk 1 MW'lık güneş pili santrali kurulmuştur. 1995 yılında Almanya'da 1000 çatı projesi hayata geçirilirken 1997 yılında dünya genelinde fotovoltaiik üretimi yıllık 1000 MW'a ulaşmıştır. 1999 yılına gelindiğinde ise dünya genelinde kümülatif üretim toplamı 1000 MW'a yaklaşmış, 2002 yılında ise bu miktar 2 katına çıkmıştır.

2.3. Güneş Pillerinin Yapısı

Güneş pili, n/p tipi bir yarı iletken olup p- tipi boron bir alt tabaka ile fosfor katkılı bir n-tipi üst tabakadan oluşur. Güneş pilinin kalınlığı önemli bir tasarım faktörüdür. Kalınlık arttıkça verim artmakta ancak güç/kütle oranı düşmektedir. Bu da zaman içinde ince film güneş pili teknolojisinin daha da önem kazanmasına sebep olmuştur. Üretim maliyetlerinin yüksek olması araştırmacıları ince film teknolojisi ile birlikte çok kristalli yarı iletkenlere de yöneltmiştir. Araştırmacılara

göre bu tür pillerde teorik verim %26-%28 dolaylarında olacak ve uygulamalardaki verim ise %20'lere ulaşacaktır [19].

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilir. Bu maddeleri iki ana kategoride incelemek mümkündür. Birinci kategoride kristal yapılı malzemeler yer alırken ikinci kategoride ince film teknolojili malzemeler yer almaktadır. Avrupa Fotovoltaik Enerji Endüstrisi Kurulu'ndan (EPIA) [20] ve Türkiye Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden [21] alınan bilgiler doğrultusunda kristal yapılı malzemeler ve ince film teknolojili malzemeler aşağıda özetlenmiştir.

Kristal yapılı güneş pilleri tek bir silisyum kristalinden (tek kristal silisyum) ya da çoklu silisyum kristali bloğundan (çok kristalli silisyum) kesilen ince dilimlerle elde edilirler. Verimlilikleri %12 ile %17 arasında değişen kristal yapılı güneş pillerinin pazar payı %90 civarındadır [20, 21]. Kristal yapılı güneş pilleri üstten sertleştirilmiş cam ile alttan da sıkı etilen vinil asetat malzemesi ile kaplanmaktadır. Böylece güneş pilleri rutubetten korunmuş olur. Kristal yapılı güneş pillerinden daha yüksek verim elde edilebilmesi için kristalin saflığının artırılması gerekmektedir. Bu işlemler de maliyetin artmasına yol açmaktadır.

- **Tek kristal silisyum:** Tek kristal silisyum yapılı güneş pilleri önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenerek elde edilmektedir. Silisyum malzemesinin elektriksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisinde büyük başarılar elde edilmesi bu malzemenin popülerliğini arttırmıştır. Yüksek verimliliğe sahip olan tek kristal silisyum malzemelerin üretim süreci oldukça zahmetlidir ve kayıp oranı fazladır. Bu da maliyetinin artmasına yol açarak bir anlamda farklı bir seçenek olarak çok kristalli malzemenin geniş ölçekte kullanılmasında etkili olmuştur.
- **Çok kristal silisyum:** Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal silisyum yapılı güneş pilleri daha kolay ve ucuza üretilmekle beraber bu tip güneş pillerinde elde edilen verim daha düşüktür [21].

Kristal yapılı güneş pillerinin ticari ürünlerde ve laboratuvar ortamındaki verimlilik değerleri Çizelge 2.1’de olduğu gibidir.

Çizelge 2.1. Kristal yapılı güneş pillerinin verimlilik değerleri [21]

	Verim (Ticari)	Verim (Laboratuvar)
Tek Kristal Silisyum	%15	%24
Çok Kristal Silisyum	%14	%18

Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basite indirgenerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve çalışmalar sonucunda, yarı iletken malzemelerin geniş yüzeylerin üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi ilgi çekici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. İnce film teknolojili güneş pillerinde film, cam ya da plastik gibi kısmen daha ucuz malzemele birleştirilir. Bu tür güneş pillerinin montajı daha kolaydır, maliyeti daha düşüktür, üretimi kolaydır ve geniş kapsamlı uygulamalar için elverişlidir. Ancak elde edilen verim, kristal yapılı güneş pillerine göre daha düşük seviyededir [22]. Yapılan araştırmalar sonucu verimliliği % 10’un üstünde olan bir çok farklı malzeme bulunmuştur. Bunlar içinde galyum arsenit (GaAs) ve kadmiyum tellürid (CdTe) gibi yarı iletken kristaller olduğu gibi, bakır indiyum diselenid (CuInSe₂) gibi ince film alaşımları da bulunmaktadır.

- **Amorf Silisyum:** Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir.
- **Galyum Arsenit (GaAs):** Galyum elementinin yeryüzünde az bulunmasından ve silisyuma göre sıcaklığa ve radyasyona karşı daha dayanıklı olmasından dolayı GaAs güneş pilleri daha çok uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır

[23]. Diğer yarı iletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs pillerde %30 düzeyinde verim elde edilebileceği kanıtlanmıştır [21].

- **Kadmiyum Tellürid (CdTe):** Periyodik tablonun ikinci gurubunda bulunan kadmiyum elementiyile ve altıncı gurubunda bulunan tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Çok kristal yapıda bir malzeme olan kadmiyum tellürid ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir.
- **Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂):** Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı guruptan elementlerin üçününün ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Kadmiyum tellürid yapıli güneş pillerinin gelecekteki en büyük rakibi olarak değerlendirilmektedir.

İnce film teknolojili güneş pillerinin ticari ürünlerde ve laboratuvar ortamındaki verimlilik değeri Çizelge 2.2’de olduğu gibidir.

Çizelge 2.2. İnce film teknolojili güneş pillerinin verimlilik değeri [21]

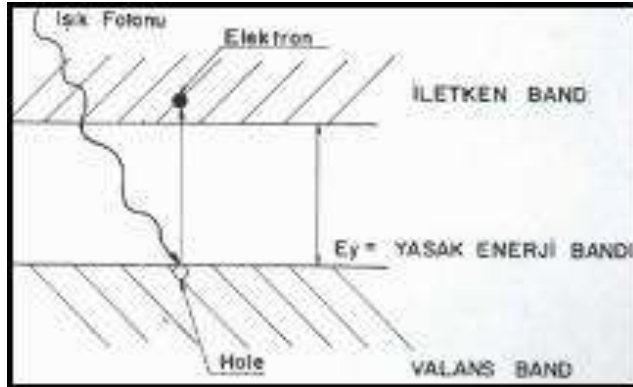
	Verim (Ticari)	Verim (Laboratuvar)
Amorf Silisyum	%5-7	%10
Galyum Arsenit (GaAs)	%25-28	%30
Kadmiyum Tellürid (CdTe)	%7	%16
Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe ₂)	%10	%17

Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemlerde güneş pilleri, yoğunlaştırılmış gün ışığında çalışmak için tasarlanmışlardır. Bu sistemde güneş pilleri yoğunlaştırıcı toplayıcılar üzerine monte edilir. Yoğunlaştırıcı sistemlerin üretilmesindeki ana fikir güneş ışığını yoğunlaştırmak ve pahalı olan yarı iletken madde kullanımını azaltmaktır. Fakat yoğunlaştırma işlemi için kullanılan mercekler sadece en güneşli bölgelerde kullanılabilmektedir. Yoğunlaştırıcı sistemlere takip mekanizması eklenerek, gün boyunca güneşin pozisyonuna göre sistemin açısı ve yönü değiştirilebilir.

20 yıldan fazla bir süredir yürütölmekte olan çalışmalar sonucunda heyecan verici sonuçlar elde edilmeye başlanmış olup Organik Fotovoltaik Hücreler yeni jenerasyon fotovoltaik sistemlere en iyi örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Organik güneş pillerinin en önemli avantajı güneş ışığının yetersiz ya da değişken olduğu günlerde üretkenliğinin azalmayıp değişen koşullara uyum sağlayabilmesidir. Bu tür sistemlerin şarj cihazları, aydınlatma üniteleri gibi düşük güç tüketiminin söz konusu olduğu ortamlarda etkin olarak kullanılabileceğı düşünölmektedir [20].

2.4. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

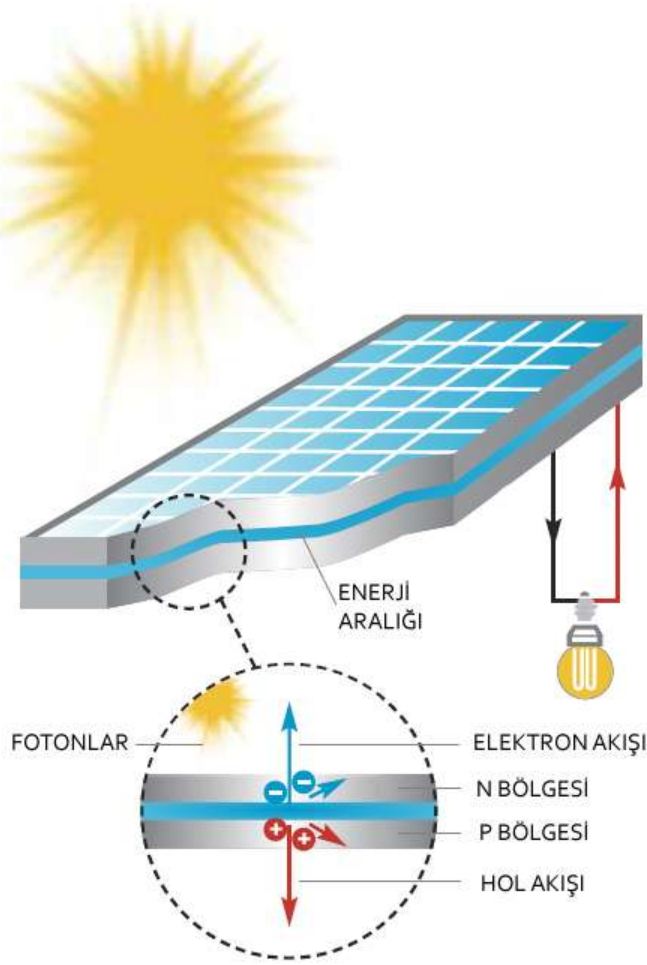
Işık, foton adı verilen, küçük enerji paketlerinden oluşmuştur. Fotonlar bir atoma çarptıklarında tüm atoma enerji yüklenir ve son yörüngede bulunan en kolay kopabilecek durumdaki valans elektronu kopar. Serbest kalan bu elektronda, voltaj veya elektriksel basınç olarak adlandırabileceğimiz potansiyel enerji ortaya çıkar [24].



Şekil 2.2. Yarı iletken malzemelerde yasak enerji bandı [25]

Yarı iletken malzemeler, Şekil 2.2’de göröldüğü üzere bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşurlar. Bu bantlara valans bandı ve iletkenlik bandı adı verilmiştir. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banttaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, *p/n* eklem güneş pilinin ara yüzeyinde

meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar [25]. Şekil 2.3'te fotovoltaiik çalışma prensibini anlatan gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.3. Fotovoltaiik çalışma prensibi [20]

3. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİ

Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akü, invertör, şarj regülatörü ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, başlarda yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda tercih edilmiş olmakla beraber günümüzde şebekeye bağlı sistemler de yavaş yavaş ön plana çıkmaktadır.

Güneş pillerinin evlerde kullanımı doğrudan olmamaktadır. Bunun için güneş piliyle elektrikli aletler arasına çeşitli donanımlar yerleştirilmektedir. Akü kullanılan bir sistemde, güneş modülünden elde edilen elektrik öncelikle şarj regülatörüne gelir ve ardından elde edilen enerji aküye iletilir. Mevcut elektrik enerjisi doğru akım olup aydınlatma sistemine doğrudan verilebilirken, elektronik aletlerin bu enerjiden faydalanabilmesi için elektrik akımının bir invertör yardımıyla alternatif akıma çevrilmesi gerekmektedir. Güneş enerjisinin dönüşüm evreleri ve sistem donanımları Şekil 3.1’de olduğu gibidir [26].



Şekil 3.1. Güneş pili sisteminde yer alan donanımlar [26]

- **Güneş Modülü :** Bir güneş pili sisteminin en önemli elemanı olan güneş modülleri, güneş enerjisini doğru akım elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu modüller ihtiyaç duyulduğu miktarda kullanılarak güneş pili sistemi oluşturulur. Tipik bir güneş modülü güneşli bir havada saatte 200 watt'ın üstünde elektrik üretebilir. Elde edilen gerilimi artırmak için modüller seri olarak, akımı artırmak için ise paralel olarak bağlanabilirler. Bunun sonucunda güneş modülü dizisi elde edilir. Elektrik enerjisi ihtiyacına göre modül sayısı belirlenerek kurulum gerçekleştirilir.
- **Şarj Regülatörü:** Şarj Regülatörü güneş modüllerinden gelen akımla akülerdeki voltaj değerlerini sürekli kontrol altında tutarak akülerin her zaman optimum şarjda kalmasını sağlayıp, fazla enerjinin de akülere zarar vermesini önler. Akü kullanımının olacağı bir güneş pili sisteminde şarj regülatörü kullanmak zorunluyken akü sisteme dahil edilmeyecekse şarj regülatörüne de ihtiyaç yoktur.
- **Akü:** Ani güç kesintilerinin sebep olabileceği sorunları gidermek ve üretimin gerçekleşmediği durumlarda elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kullanılırlar. Enerji kaynağı olarak hazırda duran ve güneş pilinden gelen akımın yetersiz olduğu durumlarda devreye girecek şekilde tasarlanmışlardır. Yüzdürme gerilimiyle sürekli şarjlı halde tutulan bu tip aküler, minimum bakım ve düşük enerji maliyeti özellikleri sayesinde güneş enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Aküler, barındırdığı toksik bileşenler nedeniyle potansiyel olarak çevreye zarar veren maddeler sınıfında yer alırken, pahalı olması sebebiyle de güneş pili yatırım maliyetini büyük oranda arttırmaktadır. Bununla birlikte aküler bilinçli kullanılmazsa ve gerekli bakımlardan geçirilmezse zamanla hem verimlilikleri düşecektir hem de ömürleri kısılacaktır. Buna karşın, güneş pili sistemlerinde akü kullanımı zorunlu olan bir donanım değildir. Şebekeden uzak sistemlerde, akü kullanımı zorunlu bir ihtiyaç olmaktadır, şebekeye bağlı sistemlerde ise bu zorunluluk ortadan kalkmaktadır.

- **İnvertör:** Bu cihazın görevi doğru akımı (DC) 220V alternatif akıma (AC) çevirmektir. Aşırı yük koruması, ters bağlantı koruması, kısa devre koruması ve aşırı ısınma koruması invertörlerin belli başlı özellikleri arasında yer almaktadır. Kurulacak güneş pili sisteminin kapasitesi ve kurulum yerinde bulunan elektrikli cihazların elektrik tüketim bilgileri doğrultusunda invertör seçimi yapılmaktadır.

Şebekeden bağımsız sistemler için invertör seçimi yapılırken, elektrik enerjisiyle çalışan cihazların anlık toplam elektrik tüketim değerleri göz önüne alınmalıdır. Çizelge 3.1’de ortalama bir ev için gerçekleştirilecek anlık elektrik tüketim değerleri, ilgili tüketim kalemleriyle birlikte listelenmiş olup seçilecek olan invertörün çıkış gücünün anlık toplam elektrik tüketim değerinden yaklaşık %25 daha fazla olması önerilmektedir [27].

Çizelge 3.1. Elektrikli cihazlar güç sarfıyatı tablosu [28]

Cihaz Adı	Daire Başı Nominal Güç (watt)
55 Ekran Televizyon	100
Çift Kapılı Buzdolabı	1200
Çamaşır Makinesi	1000
Bulaşık Makinesi	1100
Elektrik Süpürgesi	1600
Bilgisayar	250
Toplam	5250 watt

Çizelge 3.1’den yola çıkarak, elde ettiğimiz toplam anlık elektrik tüketim gücüne %25’i kadar ilave yaparak ihtiyacımız olan invertör gücünü hesaplayabiliriz. Yatırımcılar kendi evleri ya da özel koşulları için bu değerleri belirleyerek uygun invertör gücünü hesaplayabilirler.

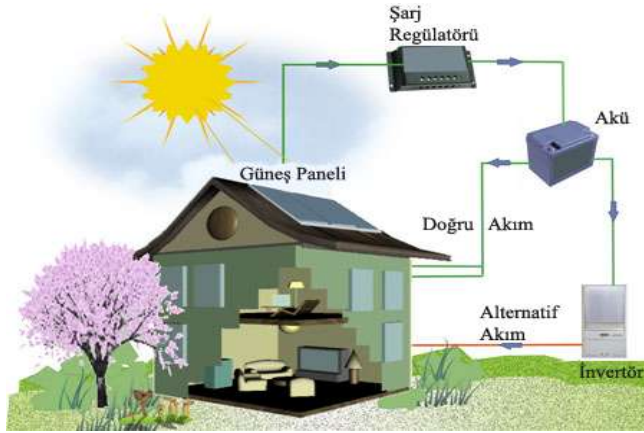
Şebekeye bağlı sistemler içinse invertör çıkış gücünün, fotovoltaik sistemin toplam kurulu modül gücünden yaklaşık %10 daha fazla olması tavsiye edilmektedir [27].

3.1. Güneş Pilleri İle Elektrik Üreten Sistemler

Kurulum alanındaki koşullar ve yatırımcıların tercihleri ışığında farklı sistem tasarımları türetilmektedir. Bunlar, (1) şebekeden bağımsız sistemler, (2) şebekeye bağlı sistemler ve (3) hibrid sistemler olarak sınıflandırılmaktadır.

3.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler

Şebeke elektriğinin olmadığı noktalarda elektrik enerjisi sağlamak amacı ile kurulan sistemlerdir. Bu sistemlerde üretilen enerji akülerde depolanır. Akülerde depolanan enerji doğru akım (DC) ile çalışan cihazları besleyecek ise herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanıma sunulabilir. Ancak çalıştırılmak istenen cihazlar şebeke elektriğine uygun olan alternatif akım (AC) ile çalışıyor ise bir invertör vasıtası ile doğru akım alternatif akıma dönüştürülür. Şekil 3.2’de şebekeden bağımsız sistem tasarımı örneği yer almaktadır.



Şekil 3.2. Şebekeden bağımsız sistem tasarımı [29]

Şebekeden bağımsız sistemlerin uygulama alanları aşağıda listelenmiştir:

- Hava gözlem ve kırsal radyo istasyonları, telsiz ve telefon sistemleri,
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler,
- Orman gözetleme kuleleri, bina içi ya da dışı aydınlatma,
- Kırsal bölgelerde TV, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması,
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompalama sistemleri,

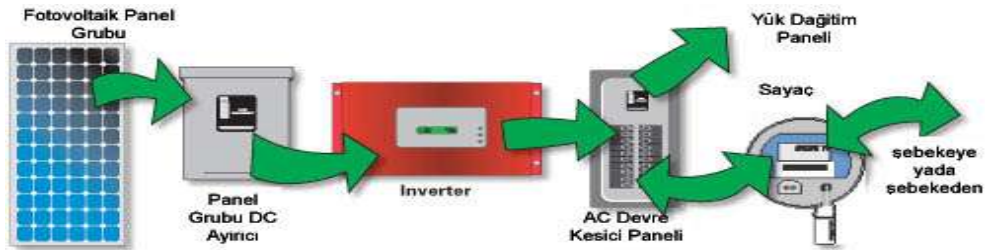
3.1.2. Şebekeye bağlı sistemler

Bu sistemlerde akü gerekli olmayıp üretilen enerji uygun invertör yardımı ile doğrudan ihtiyaca yönelik 220 Volt elektrik enerjisi üretir. Aynı zamanda şebeke elektriği de sisteme bağlı olacağından güneşin yetersiz kaldığı durumlarda şebekeden elektrik çekilebilecektir. Bu durumda akü ihtiyacı ortadan kalkacak ve sistemin kurulum maliyeti azalacaktır. Buna ek olarak bu tür sistemlerde üretilen fazla enerji şebekeye satılabilir. Bu tarz sistemlerde çift sayaç bulunmaktadır. Şebekeye gönderilen enerji devlet tarafından satın alınırken, şebekeden satın alınan enerji ise devlet tarafından kullanıcıya fatura edilir.

Gün içerisinde güneş pillerinden üretilen elektrik kullanımdayken, hava karardığında şebeke elektriğinin devreye girmesiyle kesintisiz enerji sağlanır. Elektrik tüketiminin gün içerisinde en yoğun kullanım değerlerine ulaştığı göz önüne alınırsa, şebekeye bağlı sistemlerin kullanımının yaygınlaşması, hem şebeke elektriğine binen yükü azaltacak hem de üretilen fazla enerji şebekeye satıldığında, şebeke elektriğinin dağıtımını rahatlatacaktır [30]. Şekil 3.3 ve 3.4’de şebeke bağlantılı sistem tasarımı örneği yer almaktadır.



Şekil 3.3. Şebekeye bağlı sistem tasarımı [31]



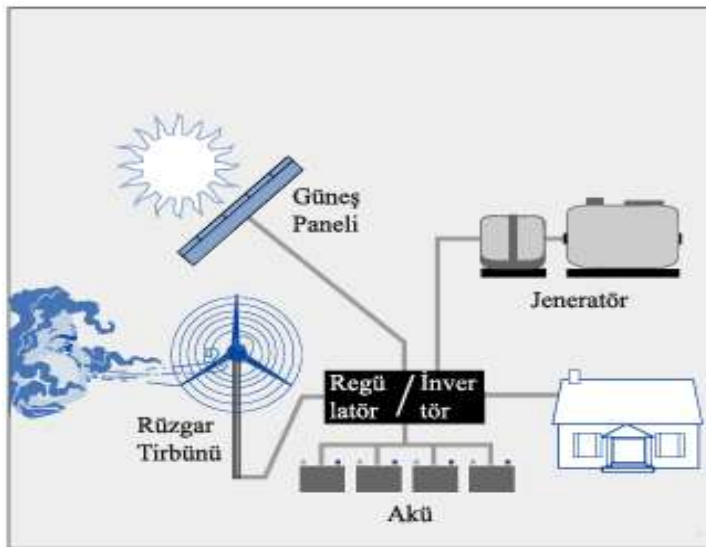
Şekil 3.4. Şebeke bağlantılı sistem elemanlarını gösteren diyagram [32]

Şebekeye bağlı sistemler küçük-orta-büyük ölçekli güneş çiftliklerinde, evsel ve site uygulamalarında, ofislerde ve fabrikalarda uygulanabilmektedir. Şebekeye bağlı sistemlerin avantajları şunlardır:

- Akü ve dolayısıyla şarj regülatörü ihtiyacı yoktur. Sadece çok acil durumlar için akülü sistem düşünülebilir,
- Fotovoltaik sistemin ürettiği fazla elektrik şebekeye satılabilir,
- Fotovoltaik sistemdeki herhangi bir arızada veya fotovoltaik sistemin yeterli olmadığı durumda şebeke anında devreye girecektir,
- Modül sayısı yani çıkış gücü istenildiği zaman artırılabilir.

3.1.3. Hibrid sistemler

Bu sistemlerde güneş enerjisine ek olarak biyokütle, rüzgar ya da dizel jeneratörler gibi alternatif bir enerji kaynağı da eklenmektedir. Hibrid kavramı da buradan gelmektedir. Bu sistemlerin en büyük getirisi güneş olsun olmasın, her zaman enerji üretebilme kapasitesinin sağlanmasıdır. Bu sistemlerde, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmenin mümkün olmadığı durumlarda, akü alternatif enerji kaynağı tarafından şarj edilir. Bu sayede, daha az güneş pili kullanarak (alandan kazanmak için) kesintisiz ve güvenilir enerji kaynağına sahip olunabilir.



Şekil 3.5. Hibrid güneş pili sistemi tasarımı [33]

3.2. Güneş Pili Sistemi Kurulumu

Bir güneş pili sistemi kurulum aşamasında detaylı bir analiz çalışması yürütülmelidir. Öncelikle kurulacak güneş pili sisteminden beklenen elektrik enerjisi üretim değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin kurulacak sistemin sadece aydınlatma giderini karşılaması bekleniyor olabilir. Bunun aksine kurulacak sistemin tüm ihtiyacı karşılaması da beklenebilir. Bu beklenen değer tespit edildikten sonra, bölgenin ve güneş modüllerinin konumlandırılacağı alanın elverişliliği değerlendirilmelidir. Bölgenin yıllık güneşlenme sürelerini doğru tespit edebilmek ve iklim koşullarını göz önünde bulundurmamak sistemden istenen verimin alınması açısından son derece önemlidir. Buna ek olarak modüllerin kaç derecelik bir eğimle konumlandırılacağına hesaplanması, kullanılabilir alanın metrekaresi cinsinden hesabı, verimliliğe etki edebilecek diğer parametrelerin göz önünde bulundurulması büyük önem teşkil etmektedir. Bunların dışında güneş pili sistemini oluşturan donanımların seçimi de verimliliğe etki eden bir başka husustur. Güneş pili yapımında kullanılan malzemenin cinsine göre verimliliğinin değişeceği gerçeği gözden kaçırılmamalıdır. Yine güneş pili sisteminin tamamlayıcı elemanlarının da uyumlu ve dayanıklı olması önem arz etmektedir.

3.3. Güneş Pili Sistemlerinin Ekonomik Analizi

Güneş pili sistemlerinin kullanımı, elektrik dağıtım sisteminin, yani şebekenin ilgili bölgeye erişemediği ya da erişmesinin çok maliyetli olduğu durumlarda oldukça ekonomik olabilmektedir. Henüz fosil ya da hidrolik kaynaklı santrallerde üretilen enerjiye göre pahalı enerji üreten sistemler olmasına rağmen temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olması, bakım gerektirmemesi ve kendisini amorti etme yeteneğine sahip olması yönünden cazip sistemlerdir.

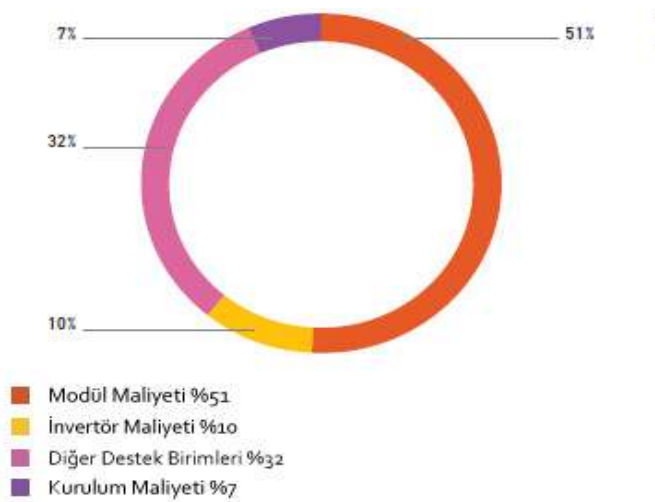
Güneş pillerinin kullanımı yaygınlaştıkça fiyatlarının düşmesi beklenmektedir. Ancak yarı iletken endüstriden temin edilen ucuz atık-silisyum miktarının az olması fiyatlardaki düşüşü frenlemektedir. Bununla birlikte güneş pili endüstrisi daha ucuz bir yöntemle solar silisyumu elde etmek için uğraş vermektedir. Bu konuda Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve İzmir Üniversitesi

Güneş Enerjisi Enstitüsü maliyeti azaltma konusunda önemli çalışmalara imza atmaktadırlar.

Diğer yandan da güneş pili hücreleri silisyumdan oluşmak zorunda değildir. 2000 senesinde Alan Heeger elektrik ileten plastiği (polimer) geliştirdiği için Nobel ödülünü almıştır. 2004 senesinin Nisan ayında TDA adlı Amerikan Firması ve National Science Vakfı Oligotron adlı elektrik ileten bir polimer geliştirdiklerini bildirmişlerdir. Ayrıca Amerika'daki Berkley National laboratuvarları güneş pillerinin etki derecesini % 45 ya da daha fazla yükseltebilen bir alaşım geliştirmişlerdir. Bu buluşlar, ileride güneş pillerinin daha ucuza üretilebileceği umudunu arttırmaktadır. Sonuç olarak güneş pilleri yılda yaklaşık %4'e kadar ucuzlamakta ve fosil yakıtlar da günden güne azalmaktadır.

Araştırmacıların elde ettiği sonuçlar ışığında 2030 senesine kadar güneş pili fiyatlarının kilowatt başı 1000 Euro'ya düşeceği tahmin edilmektedir [20].

Güneş pili sistemlerinin maliyeti, temel olarak iki kısımda incelenebilir. Bunlardan ilki, güneş modüllerinin maliyetidir. İkinci kısım ise dönüştürücüler (invertör), elektronik denetim aygıtları (regülatör), depolama(akü), kablolama, arazi, altyapı hazırlama gibi sistem destek elemanlarının maliyetidir. Genellikle, Şekil 3.6'da da görüldüğü gibi güneş pillerinin maliyeti, toplam sistemin maliyetinin yaklaşık yarısı kadar olmaktadır, invertör, akü,şarj regülatörü gibi destek birimlerinin maliyeti toplam maliyetin %42'sini oluşturmaktadır.



Şekil 3.6. Fotovoltaik sistem maliyet grafiği [20]

Akü kullanılmayan şebeke bağlantılı sistemler içinse, modül maliyetinin oranı %75'e , invertör maliyetinin oranı %15'e ve kurulum maliyetinin oranı da %10'a yaklaşacaktır. Güneş pili sistemlerinin ekonomik analizinde güneş pilinin verimliliği, sistemin kurulacağı coğrafi konum, sistemin ilk yatırım maliyeti ve sistemin ömrü gibi parametreler öne çıkmaktadır.

3.3.1. Verimlilik

Güneş pili veriminin maliyet üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Verimliliğin iki kat artması, elektrik enerjisi üretimini iki kata kadar arttıracak ve modül ihtiyacını yarıya indirecektir. Bu da sistemin yatırım maliyetine doğrudan etki edecek ve güneş pili sistemlerinin yaygınlaşmasında önemli rol oynayacaktır.

Günümüzde ticari ürünlerde %10 - %15 civarında olan güneş pili verimliliğinin gelecekte %20'nin üstüne çıkması beklenmektedir.

Verimliliğin artırılması konusunda çalışmalar sürerken, A.B.D Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) mühendisleri, farklı yarı iletken malzemelerin güneş ışınındaki farkı renkleri yakaladığını tespit etmişler. Bu buluştan yola çıkarak galyum indiyum fosfit ile galyum arseniti birleştirerek ve güneş ışını yoğunlaştıran bir yansıtıcı kullanarak %40,8 verimle çalışan bir güneş pili üretmeyi başarmışlar. Ancak bu süreç karmaşık ve zahmetli olduğundan, yüksek maliyet nedeniyle (10.000 \$/cm²) henüz seri üretime geçilememiştir [34].

Verimliliği artırma konusundaki çalışmaların aksine bazı araştırmacılar da verimliliği arttırmak yerine maliyetleri azaltmak için uğraşmaktadır. Çünkü çoğu güneş pili teknolojisi şirketi düşük maliyeti yüksek verimliliğe tercih etmekte ve bu doğrultuda düşük verimliliğe sahip ancak ucuz olan ince film teknolojisine yönelmektedirler. Bu çalışmalarla maliyetler 1 \$/W' a kadar düşerek, petrol fiyatlarıyla rekabet edecek koşullar sağlanacaktır [34].

Verimlilik güneş pilleri kadar sistemin diğer elemanlarını da kapsayan bir parametredir. Invertör, akü, şarj regülatörü, kablolama gibi destek elemanlarında da kayıplar yaşanmakta olup, bu kayıp benzer çalışmalarda genellikle %20 olarak hesaba katılmaktadır.

3.3.2. Coğrafi konum

Sistemin kurulacağı yerin coğrafi konumu güneş pili sisteminin yatırım maliyetine ve bu maliyetin geri dönüş süresine oldukça etki etmektedir. Sistemin kurulacağı yerin iklim koşulları sistemin genel verimliliğinin, günlük ve yıllık ortalama elektrik enerjisi üretme kapasitesinin tahmin edilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda rüzgarlı gün sayısı, ortalama sıcaklık, gün içerisindeki elverişli gün ışığı saati, ortalama yağış değerleri, nem oranı gibi iklimsel özellikler sistem tasarımında ele alınması gereken parametreler olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte çarpık yapılaşmanın yoğun olduğu ülkemizde, çevredeki binaların ya da ağaçların çatı üzerine düşürdüğü gölge alanı ve süresi, tozlanma gibi çevresel etmenler de göz önünde bulundurularak tahmin edilen elektrik enerjisi üretiminin beklenenden düşük olabileceği bilinmelidir.

3.3.3. Yatırım maliyeti

Güneş pili sistemlerinin kullanım ve bakım maliyetleri çok az olduğu için toplam sistem maliyetinin büyük bir kısmını ilk yatırım maliyeti oluşturur. Üretim teknolojisinin geliştirilmesi yüksek verimli pillerin yapılması, modül tasarım ve yapım tekniklerinin geliştirilmesi ile ilk yatırım maliyeti azalacaktır. Güneş pili sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri arasında arazi, tesisat, montaj, invertör, şarj regülatörü, akü ve diğer güç cihazları gibi destek elemanlarının maliyeti yer alır. Destek sistemlerinin maliyeti bir güneş pili sistemini maliyetinin yaklaşık yarısını oluşturduğu için, bu tür maliyetleri azaltmak en az modül maliyetini azaltmak kadar önem taşır [35].

Şebekeye bağlı sistemler gün geçtikçe popülerliğini arttırmakta olup bu sistemlerin akü gereksinimini ortadan kaldırması akü ve şarj regülatörü maliyetlerini sıfırlamak anlamına gelmektedir. Buna ek olarak bu tür sistemlerde üretilen fazla elektrik enerjisinin şebekeye satılabilmesi durumunda, güneş pili sistemi ihtiyacı karşılayan ve aynı zamanda kazanç sağlayabilen bir sisteme dönüşecek olup yatırım daha da anlam kazanacaktır.

Günümüz koşullarında bir güneş pili sisteminin ömrünün 20-25 yıl olduğu bilinmektedir. Bu süre içerisinde güneş pili sistemleri özel bir bakım istemezken, taşınabilir olmaları da önemli bir avantajdır. Şebeke bağlantısı olmayan sistemlerde ihtiyaç duyulan aküler ise bu konuda sistem için ayrı bir yük oluşturmaktadır. Dikkatli kullanım ve periyodik bakım gerektiren akülerin verimleri de zaman geçtikçe azalmaktadır.

Güneş pili sistemleri geleceğe yönelik önemli bir yatırımdır. Yapılan araştırmalar ve gelişen teknolojik olanaklarla birlikte önümüzdeki yıllarda verimliliğin artması, maliyetlerin azalması ve sistem ömrünün uzaması beklenmektedir. Çevreye zarar veren maddelerin kullanımının ortadan kalkması ile de daha yaşanabilir bir dünyanın temelleri atılacaktır.

3.4. Güneş Pili Sistemlerinin Sağladığı Avantajlar

Güneş enerjisinden elektrik üretiminin kişi, toplum ve çevre bazında birçok getirisi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir:

- Güneş enerjisi bedavadır ve sınırsızdır,
- Şebekeye uzak bölgelerde güneş pili sistemi kurulumu, o bölgeye şebeke elektriği iletmekten çok daha az maliyetlidir,
- Çevreye zarar veren zararlı gaz üretimine neden olmaz,
- Güvenilirliği ve dayanıklılığı ispat edilmiştir,
- Güneş modüllerinin en az 20-25 yıllık bir ömürleri vardır,
- Sistemde kullanılan donanımlar geri dönüştürülüp tekrar kullanılabilir,
- Kurulumu kolaydır ve bakım masrafı oldukça düşüktür,
- Yeni iş olanakları açığa çıkmaktadır. EPIA [20]'nın yaptığı araştırmalara göre fotovoltaik enerji sektörünün 2015 yılında dünya genelinde yaklaşık 1,5 milyon kişiye iş imkanı sağlayacağı öngörülmekte ve bu sayının 2020 yılında 3,5 milyonu aşması beklenmektedir [20].

4. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİNE ÖRNEKLER

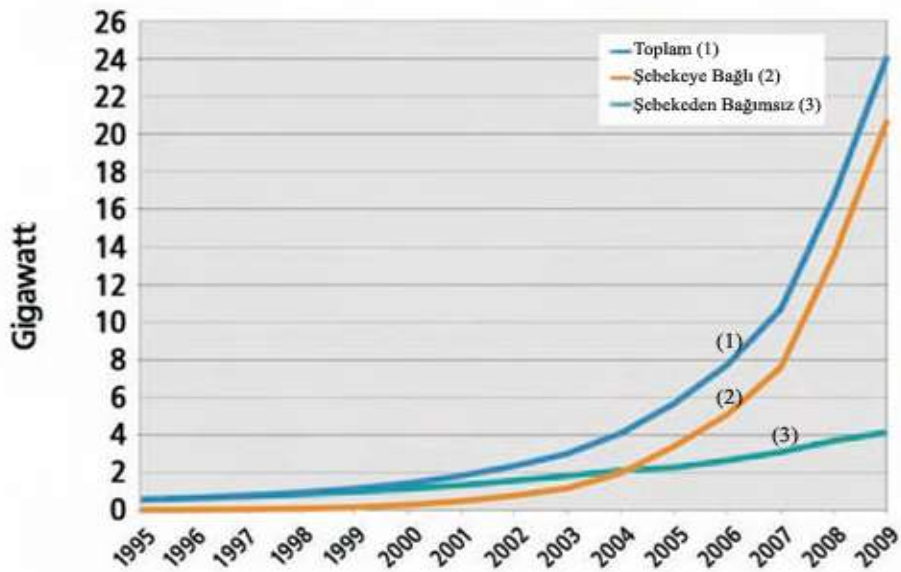
4.1. Dünyadaki Uygulamalar

Elektrik enerjisi, dünya genelinde milyarlarca insanı ilgilendiren, toplumlara yön veren, savaşlara konu olan ve ihtiyacı giderek artan bir olgudur. İnsanoğlu elektrik enerjisi elde etmek için çeşitli kaynaklar keşfetmiş ve bunlardan faydalanmıştır. Bunlar arasında en çok kullanılan kaynak ise fosil yakıtlardır.

1973 yılında yaşanan petrol krizi farklı enerji kaynaklarına yönelimin ilk adımlarının atılmasını sağlamıştır. 1990'lü yıllara gelindiğinde küresel ısınma ve çevre duyarlılığının önem kazanmasıyla beraber yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanımı amacıyla politikalar üretilmeye başlanmıştır.

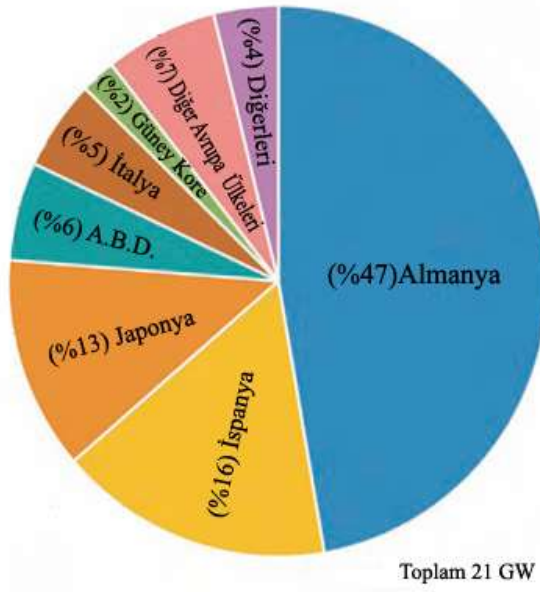
Günümüzde dünya nihai enerji üretiminde %79'luk pay ile fosil yakıtlar ilk sırayı almaktadır. Bunu %18'lik pay ile yenilenebilir enerji kaynakları ve %3'lük pay ile nükleer enerji izlemektedir [36].

Fotovoltaik enerji üretimi dünyada en hızlı ilerleyen enerji üretim teknolojisi olarak ön plana çıkmakta ve en az 100 ülkede bu teknolojinin kullanıldığı bilinmektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, 2007 yılında dünya genelinde 7,6 GW olan toplam fotovoltaik enerji üretimi kapasitesi miktarı 2009 yılında 21 GW'a kadar yükselmiştir [37].



Şekil 4.1. Dünya genelinde fotovoltaik enerji kapasitesinin yıllara göre değişimi [37]

Fotovoltaik enerjiye yapılan yatırımlar ve sonucunda elde edilen mevcut üretim kapasitesi alanında Almanya ilk sırada yer almaktadır. Bulunduğu coğrafi konum nedeniyle Almanya'nın yıllık güneşlenme süresi çoğu ülkeyle karşılaştırıldığında daha az olmasına rağmen güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yolundaki atılımları övgüye değerdir. Şekil 4.2'de görüldüğü üzere 2009 yılı itibariyle fotovoltaik üretim kapasitesinin neredeyse yarısına (%47) sahip olan Almanya'yı, %16 ile İspanya ve %13 ile Japonya takip etmektedir [37].



Şekil 4.2. Fotovoltaik enerji üretim kapasitesinin ülkelere göre dağılımı [37]

2010 yılında ise dünya genelinde 15.000 MW'lık yeni fotovoltaik sistem kurulumu gerçekleşmiş olup toplam kapasite miktarı 40.000 MW düzeyine gelmiştir. Son yıllarda gerçekleşen fotovoltaik enerji yatırımının %70'lik kısmında Avrupa ülkelerinin imzası bulunmaktayken, A.B.D., Japonya, Çin ve Avustralya gibi ülkeler de yaptıkları yatırımlarla bu pazarda yer almaya başlamışlardır. 2010 yılı sonunda yapılan hesaplamalarda ise dünya genelinde fotovoltaik enerji üretim kapasitesinin 35 GW'a çıktığı tespit edilmiştir [20].

Gelişmekte olan ülkelerde kurulan sistemler genellikle evlerde ve kamu binalarında kurulmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ise; güvenlik, cadde ve tünel aydınlatması gibi daha özel uygulama alanları bulunmaktadır. Dünyanın çeşitli

yerlerinde 10.000'den fazla su pompaj sistemi ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini güneş pili sistemlerinden elde etmektedir [38].

EPIA [20] tarafından gerçekleştirilen bir modele göre, hükümetlerin fotovoltaik enerjiye destek çıkmaları ve gerekli yasaları çıkarmaları halinde günümüzde dünya genelinde 35 GW olarak hesaplanan kurulu kapasitenin, 2020 yılında 688 GW ve 2030 yılında ise 1845 GW olacağı öngörülmektedir. Bu değerlerin ise dünya genelindeki elektrik enerjisi ihtiyacının %10'unu karşılayacağı tahmin edilmektedir. Yine EPIA [20] tarafından gerçekleştirilen bir diğer modele göre hükümetler gerekli desteği sağlamadıkları takdirde, 2030 yılındaki fotovoltaik enerji kapasitesi 1081 GW ile sınırlı kalacak.

Fotovoltaik enerjide öncü olan ve bu enerjiyi destekleyen ülkeleri incelersek, Almanya, fotovoltaik sistemlerden elde edilmiş elektrik enerjisine sistemin büyüklüğüne ve tipine bağlı olarak 0,35-0,47 £/kWh arası ödeyerek en az 20 yıl boyunca satın alma garantisi vermektedir. İspanya ise, 2004 yılında düzenlediği 0,27 £/kWh'lık alım garantili teşvik tarifesıyla, 50 MW kadar kurulu gücü olan yoğunlaştırıcı termal güneş santrallerinden üretilen elektriğe dünyada ilk destek veren ülke olmuştur. İtalya, fotovoltaik sistemlerin kurulumu için 36,46 £/kWh'lık teşvik sağlamak ve vergilerde indirim yapmaktadır. Fransa, konut sektöründe yapıya entegre sistemler için 0,57 £/kWh, diğer sistemler için 0,31 £/kWh ödeme garantisi vermektedir. Yunanistan, 0,40-0,50 £/kWh arasında satın alma garantisi verirken, bu alandaki yatırımlara %20-40 arasında hibe desteği sağlamaktadır. Portekiz ise, kurulu gücü 5 kW'ın üstünde olan tesisler için 0,28 £/kWh, altında olanlar için ise 0,49 £/kWh destek sağlamaktadır [39].

Japonya'nın Ota kentinde insanlar, hükümetin desteğiyle, elektrik ihtiyacını büyük ölçüde güneş enerjisinden sağlamaktalar. Japonya'nın başkenti Tokyo'nun 80 kilometre kuzeybatısında yer alan, çilek tarlaları ve bol güneşiyle ünlü olan Ota'yı dünyaya tanıtan elektrik ihtiyacını büyük ölçüde güneş enerjisinden sağlamasıdır. Kentteki 550 ev, elektrik ihtiyacını kendi kendine karşılayabiliyor. Evler hükümet tarafından ücretsiz olarak dağıtılıyor, birçok aile bu olanaktan faydalanmak için güneş enerjisine çevrilmiş evlere taşınıyor. Elektrik faturasına para ödemek yerine, ürettikleri fazla elektriği yerel bir enerji santraline satan aileler, ayda 50 doları bulan kazançlar elde ediyor.

4.2.Türkiye’deki Uygulamalar

4.2.1. Türkiye’nin Enerji Tüketimi ve İhtiyacının Belirlenmesi

Türkiye’de enerji sektörü oldukça hızlı biçimde büyümektedir. Ülkede enerji tüketimi batı ülkelerine kıyasla düşük olmasına rağmen artan nüfus ve kentleşmeyle birlikte birincil enerji tüketim oranlarının 2020 yılına kadar ortalama %4 artacağı öngörülmektedir. 2008 yılında ülkemizin toplam birincil enerji tüketimi 106,3 milyon TEP, üretimi ise 29,2 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Bu noktada enerji tüketiminin üretimi aşmasından ötürü Türkiye önemli bir enerji ithalatçısı konumundadır. Enerji arzında ilk sırayı %32’lik pay ile doğalgaz alırken, bunu sırasıyla %29,9’luk pay ile petrol, %29,5 pay ile kömür ve %8,6’lık pay ile hidrolik dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları izlemiştir [40].

Türkiye’de enerji üretiminde kullanılan kaynaklar göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının mevcut potansiyelinin çok çok altında olduğu bilinmektedir. Doğalgaz, Hidrolik Enerji, Linyit ve Kömür enerji üretiminde kullanılan kaynakların başında gelmektedir. Ancak bu kaynaklar sınırsız değildir. Ayrıca ülkemizi dışa bağımlı hale getirmekte ve ülke ekonomisinin kalkınmasını engellemektedir.

Enerji Bakanlığı, her geçen gün artan enerji talebinin sürdürülebilir şekilde karşılanabilmesi amacıyla 2023 yılına kadar olan süreçte yenilenebilir kaynaklardan azami ölçüde faydalanmayı hedeflemektedir. Bu noktada Mayıs 2005’te Türkiye’de bu sektörün gelişmesine yönelik olarak 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun yürürlüğe girmiştir [36].

4.2.2. Türkiye’nin Enerji Politikası

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Olarak Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında kaynağa, kullanılan teknolojiye ve küçük ölçekli üreticiye göre farklı fiyat uygulamasının hayata geçirilmesi, yerli üretime yapılacak katkının arttırılması ve teşviklerin yaygınlaştırılması amacıyla ilgili kanunda değişiklik teklifi hazırlanmış ancak

çeşitli nedenlerden ötürü kanun teklifi geri çekilmiştir. Haziran 2010'da 5346 sayılı kanun tasarısı yeniden meclis gündemine gelmiştir. Ancak teklif edilen alım fiyatlarının düşük olması (özellikle rüzgar enerjisi için) yatırımcıları memnun etmemiş ve kanun teklifi görüşmelerine ara verilmiştir. 2010 yılının son günlerinde kanundaki değişiklik teklifi TBMM Genel Kurulu'nun gündemine tekrar gelmiş ve bu kez kabul edilmiştir. Yeni kanuna göre 31/12/2015 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yurt içinde imal edilmiş olması halinde; bu tesislerde üretilerek iletim veya dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisi için Çizelge 4.1'de belirtilen fiyatlara, üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle; Çizelge 4.2'de belirtilen fiyatlar ilave edilir.

Çizelge 4.1. Enerji kaynağına göre elektrik üretim tarifesi [41]

Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (USD Cent/KWh)
Hidroelektrik	7,3
Rüzgar	7,3
Jeotermal	10,5
Güneş	13,3
Biyokütle	13,3

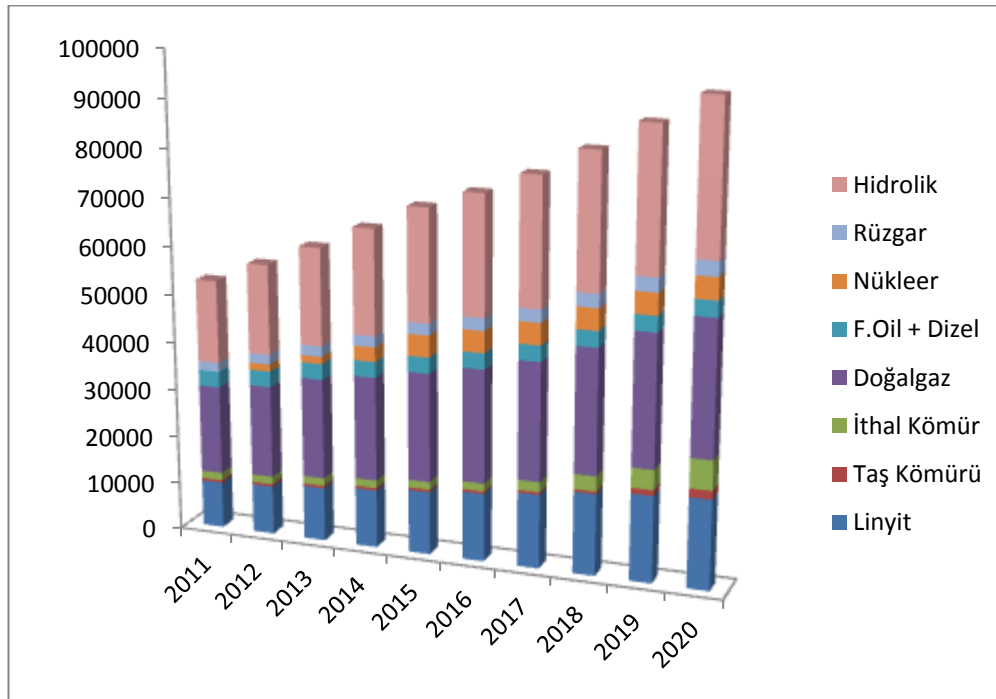
Çizelge 4.2. Fotovoltaik enerji yerli üretim katkısı [41]

Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (USD Cent/kWh)
PV modül entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
PV modülleri	1,3
PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
İnvertör	0,6
PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme	0,5

TEİAŞ [42]'in hazırladığı raporda Türkiye'nin enerji kaynaklarına yapmayı planladığı yatırımlar yer almaktadır. Bu rapora göre kademeli olarak rüzgar enerjisi kapasitesinin arttırılacağı görülmektedir. Ancak güneş enerjisinin Türkiye'nin gelecek yıllardaki planlarında yer almamış olduğunu görmek üzüntü vericidir. Bu raporda yer alan veriler Çizelge 4.3'te verilmiş olup, ilgili veriler kullanılarak oluşturulan grafik Şekil 4.3'de yer almaktadır.

Çizelge 4.3. TEİAŞ kurulu gücün yakıt cinslerine göre gelişim planı (MW) [42]

Yıllar	Linyit	Taş kömürü	İthal kömür	Doğal gaz	F.oil+ dizel	Nükleer	Rüzgar	Hidrolik	Toplam
2011	9661	555	1602	18447	3307	0	1913	17177	52662
2012	10181	555	1602	19147	3307	1500	2038	18655	56985
2013	11221	555	1602	20822	3307	1500	2163	20253	61423
2014	12101	555	1602	21522	3307	3000	2288	21811	66186
2015	13141	555	1602	22497	3307	4500	2413	23257	71272
2016	14181	555	1602	23472	3307	4500	2538	24740	74895
2017	15381	555	2102	24447	3307	4500	2663	26299	79254
2018	16941	555	3102	25847	3307	4500	2788	27717	84757
2019	17981	1155	4102	27247	3307	4500	2913	29307	90512
2020	18661	1755	6102	27947	3307	4500	3038	31038	96348

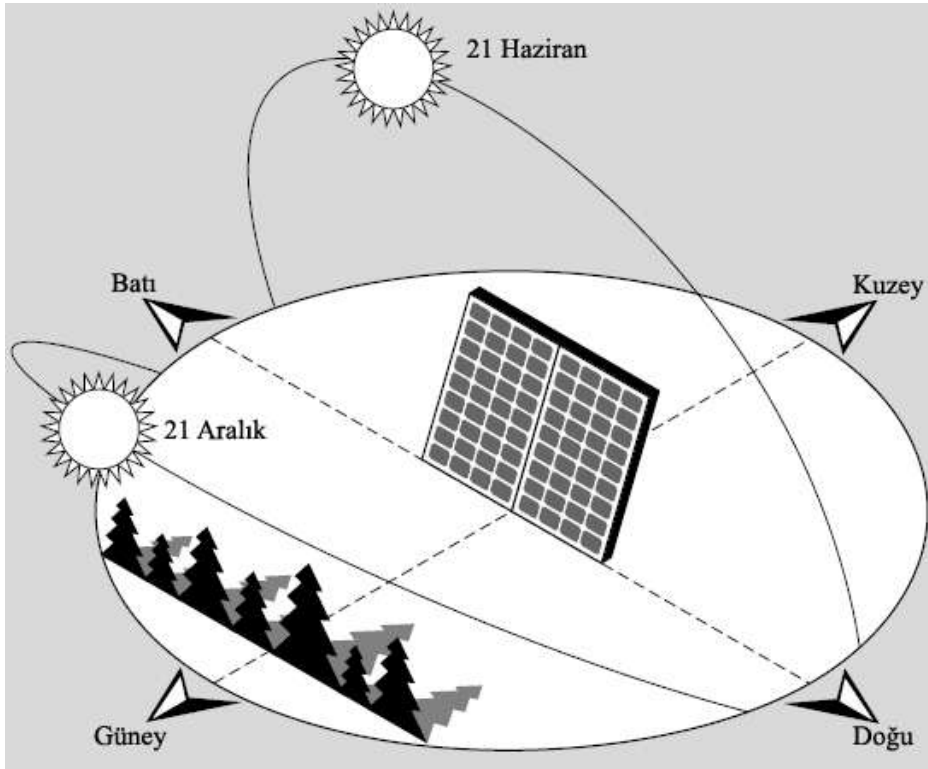


Şekil 4.3. TEİAŞ kurulu gücün yakıt cinslerine göre gelişim planı grafiği (MW) [42]

4.2.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli ve yenilenebilir enerji potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Araştırmalar, Türkiye'nin 723 TWh dolayındaki yenilenebilir enerji kaynakları ile Avrupa'nın ikinci büyük gücü olduğunu göstermektedir. Bu kapasite; fotovoltaik, rüzgar, jeotermal, hidrolik v.b. yenilenebilir enerji kaynaklarının toplamıdır. Bu toplam içinde güneş enerjisinin teorik değeri 131 TWh'dir [43].

Kuzey Yarımkürede yer alan Türkiye, sahip olduğu coğrafi konum ve yer şekilleri nedeniyle farklı iklimleri içinde barındırmaktadır. Şekil 4.4'de görüldüğü üzere, yazın başlangıcı kabul edilen 21 Haziranda güneş ışınları Kuzey Yarımküreye en dik açıyla ulaşırken en uzun gündüz süresi kaydedilir, kış başlangıcı kabul edilen 21 Aralık tarihinde ise güneş ışınları Kuzey Yarımküreye en eğik açıyla ulaşırken en uzun gece süresi kaydedilir.



Şekil 4.4. Kuzey yarımkürede mevsimlere göre öğlen vaktinde güneşin gelme açısı [22]

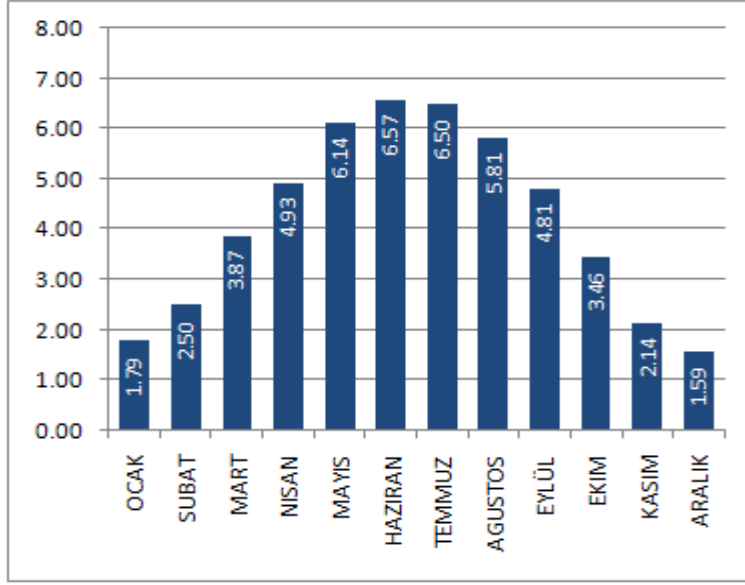
Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilen güneşlenme süresi ve ışınlm şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlm şiddetinin 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) ve fotovoltaiik enerjiden yıllık elektrik üretim potansiyelinin ise 380 milyar kWh olduğu tespit edilmiştir.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından hazırlanan ve Şekil 4.5’de verilen Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) incelendiğinde ülkemizdeki en düşük güneş ışınlmına sahip olan kuzey bölgelerde dahi metrekareye düşen yıllık ışınlm miktarı 1.450 kWh/m²-yıl olarak görülmektedir. Bu değeri güneş enerjisi sistemleri konusunda ilk sırada yer alan Almanya’da en iyi değere sahip Ulm ve Augsburg gibi şehirlerde 1.400 kWh/m²-yıl civarındadır. Güneş enerjisinden faydalanma konusunda ortaya konan bu değeri ülkemizde konuya verilen önemin ne denli düşük olduğunun bir göstergesi iken, sektörde ileri teknoloji ürünlere duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır [44].

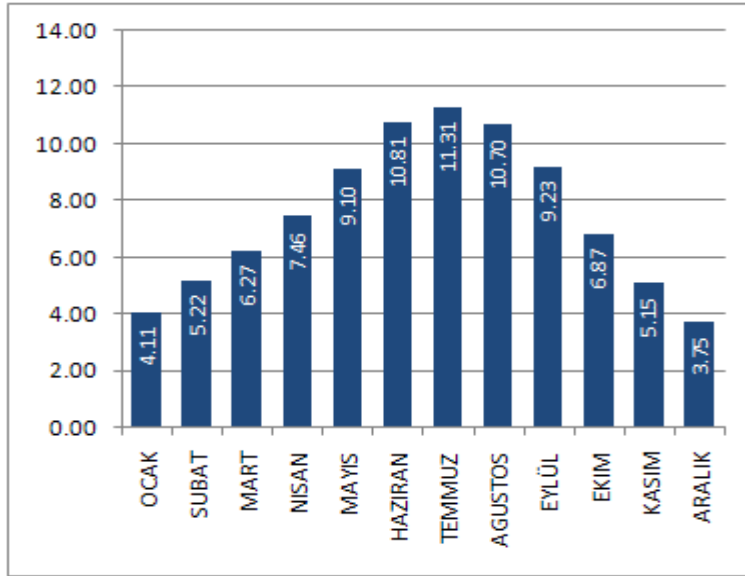


Şekil 4.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası [45]

Türkiye’de aylara göre global radyasyon değeriğini gösteren grafik Şekil 4.6’da, güneşlenme sürelerini gösteren grafik ise Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Türkiye aylık ortalama global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [45]



Şekil 4.7. Türkiye aylık ortalama güneşlenme süreleri (Saat) [45]

Güneş radyasyonu yıllık metrekare başına 1650 kWh'den fazla olan yerler güneş pili kurulumu için en uygun alanlar olarak tanımlanırken, ülkemizde yaklaşık 4 bin 600 kilometrekare alan bu tanıma uymaktadır. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 4.4 'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [46]

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi kWh/m ² - yıl	En çok güneş enerjisi (Haziran) kWh/m ²	En Az güneş enerjisi (Aralık) 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

4.2.4. Türkiye’de Güneş Pili Uygulamaları

Uygulamalara baktığımızda henüz evlerde güneş pili sistemlerinin kullanımının yaygınlaşmadığını görmekteyiz. Öncü ülkelerdeki uygulamalar incelenerek gerekli yasalar hazırlandığı takdirde, evlerde kullanımın önü açılacak, küresel ısınmayla mücadelede önemli bir adım atılacak, ekonomik kalkınma sağlanacak ve dışa bağımlılık azalacaktır.

Türkiye’de güneş enerjisi, ticari faaliyetler göz önüne alındığında daha çok düzlemsel güneş kolektörleri alanında gelişmiştir. Ülkemizde bu alanda faaliyet gösteren firmaların sayısının 100’den fazla olduğu bilinmektedir. İç piyasanın yanında, toplam üretimin yaklaşık %30’u da ihraç edilmektedir.

Güneş pillerinin ülkemizde üretilebilmesi konusunda ise yüksek teknoloji gereksinimi ve maliyetlerin fazla olması sebebiyle yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmalara ODTÜ bünyesinde kurulan ve Türkiye’nin ilk yerli güneş modülünün üretimini gerçekleştiren Güneş Enerjisi Araştırma Merkezi (GÜNAM) örnek olarak gösterilebilir. Öncelikli hedefleri maliyet düşürücü yöntemler geliştirmek olan GÜNAM, yoğunlaştırma tekniğine yeni bir yaklaşım getirerek yarı iletken malzeme kullanımını azaltmakta bu da maliyetlerin düşmesine olanak sağlamaktadır [47].

Türkiye’de binaya entegre fotovoltaik sistemlere yönelik ilk uygulama Muğla Üniversitesi yerleşkesi içerisinde yer alan öğrenci kafeterya çatısının 215 m² büyüklüğündeki güney cephesinde gerçekleştirilmiş ve 2003 yılında devreye

alınmıştır. Şekil 4.8’de yer alan sistem, 25,6 kW kurulu güce sahip olup yıllık 35.000 kWh civarında elektrik enerjisi üretmektedir [36].



Şekil 4.8. Muğla Üniversitesi kafeterya çatısında fotovoltaiik sistem [36]

Buna ek olarak Şekil 4.9’da yer aldığı üzere yine Muğla Üniversitesi otopark bölümünde çatılara döşenmiş 15 kW güce sahip bir fotovoltaiik sistem kurulmuştur [48].



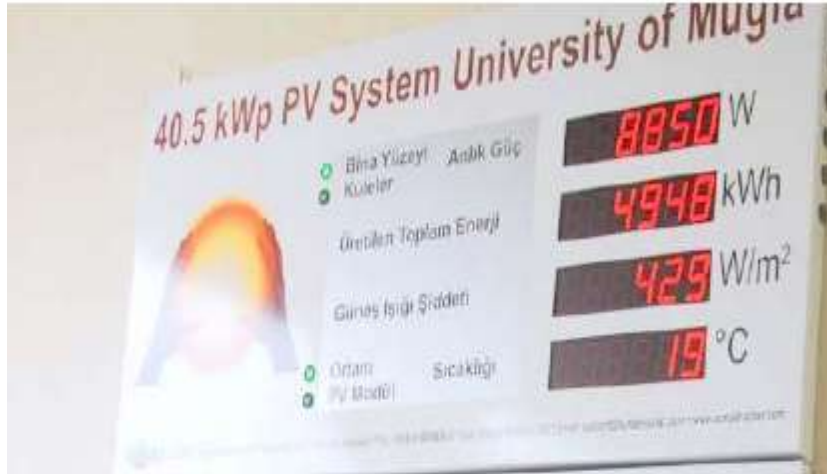
Şekil 4.9. Muğla Üniversitesi otopark çatısında fotovoltaiik sistem [48]

Türkiye’deki en büyük binaya entegre fotovoltaiik sistem uygulaması ise Şekil 4.10’da yer alan Muğla Üniversitesi rektörlük binasındaki cephe kaplamasıdır. 40,5 kW kurulu güce sahip olan bu sistemin yılda 48.000 kWh elektrik enerjisi üretmesi beklenmektedir. Bunların yanı sıra aydınlatma vb. faaliyetler için güneş enerjisinden faydalanılmakta, 94 kW kurulu güç ile

yerleşkenin elektrik enerjisi ihtiyacının %3,5'i karşılanmaktadır. Özel sektörün de katkısıyla önümüzdeki yıllarda üniversite kendi güneş pillerini üretmeyi planlamaktadır [36].



Şekil 4.10. Muğla Üniversitesi Rektörlük binasına entegre fotovoltaik sistem [36]



Şekil 4.11. Rektörlük binasına entegre fotovoltaik sistem takip panosu [48]

Bunların dışında küçük çaplı çeşitli uygulamalara da rastlamak mümkündür. Ülkemizde Orman Bakanlığı orman gözetleme kuleleri, (175 kW) Türk Telekom aktarma istasyonu, (135 kW) Karayolları imdat telefonları, çeşitli araştırma kurumlarında olmak üzere 350 kW civarında güneş pili kurulu gücü olduğu bilinmektedir.

5. BİR YAZLIK SİTEDE GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİNİN TASARIMI

5.1. Uygulama Yerinin Tanıtımı

Muğla'nın Milas İlçesine bağlı Bozbük köyünün sahil kesiminde bulunan, 15 adet ikiz villa (30 hane) ve bir kapıcı dairesinden oluşan İncekum Sitesi bu tez için uygulama planı yapılacak yer olarak belirlenmiştir. Bozbük köyü, Muğla'nın kuzeybatı ucunda, Aydın il sınırına 8 km ve Aydın il merkezine 80 km uzaklıkta yer alırken, Muğla il merkezine olan uzaklığının 131 km olması dolayısıyla ışınlım verilerinin seçiminde Aydın ili baz alınmıştır.

Bu çalışmadaki amaç, belirlenen hedefler ve tespit edilen kısıtlar doğrultusunda İncekum Sitesinin elektrik ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanmasını sağlayacak şebeke bağlantılı bir güneş pili sisteminin tasarlanması ve yatırım maliyetinin tespit edilerek yatırımın geri dönüş süresinin tespit edilmesidir. Planlama yapılırken, maliyeti yüksek, bakım gerektiren, verimliliği değişken olan ve çevreye zararlı maddeler üreten akü kullanmak yerine, yurt dışında giderek yaygınlaşan ancak ülkemizde henüz olgunlaşmamış olan şebeke bağlantılı sistem tasarımı tercih edilmiştir. Şebeke bağlantılı sistemler, devlet teşviki ve satın alma garantisi eşliğinde gelecek yıllarda ülkemizde de yaygınlaşacak olup, bu gelişmenin temelleri ve elde edilecek sonuçlar bu çalışmada irdelenmeye çalışılmıştır.

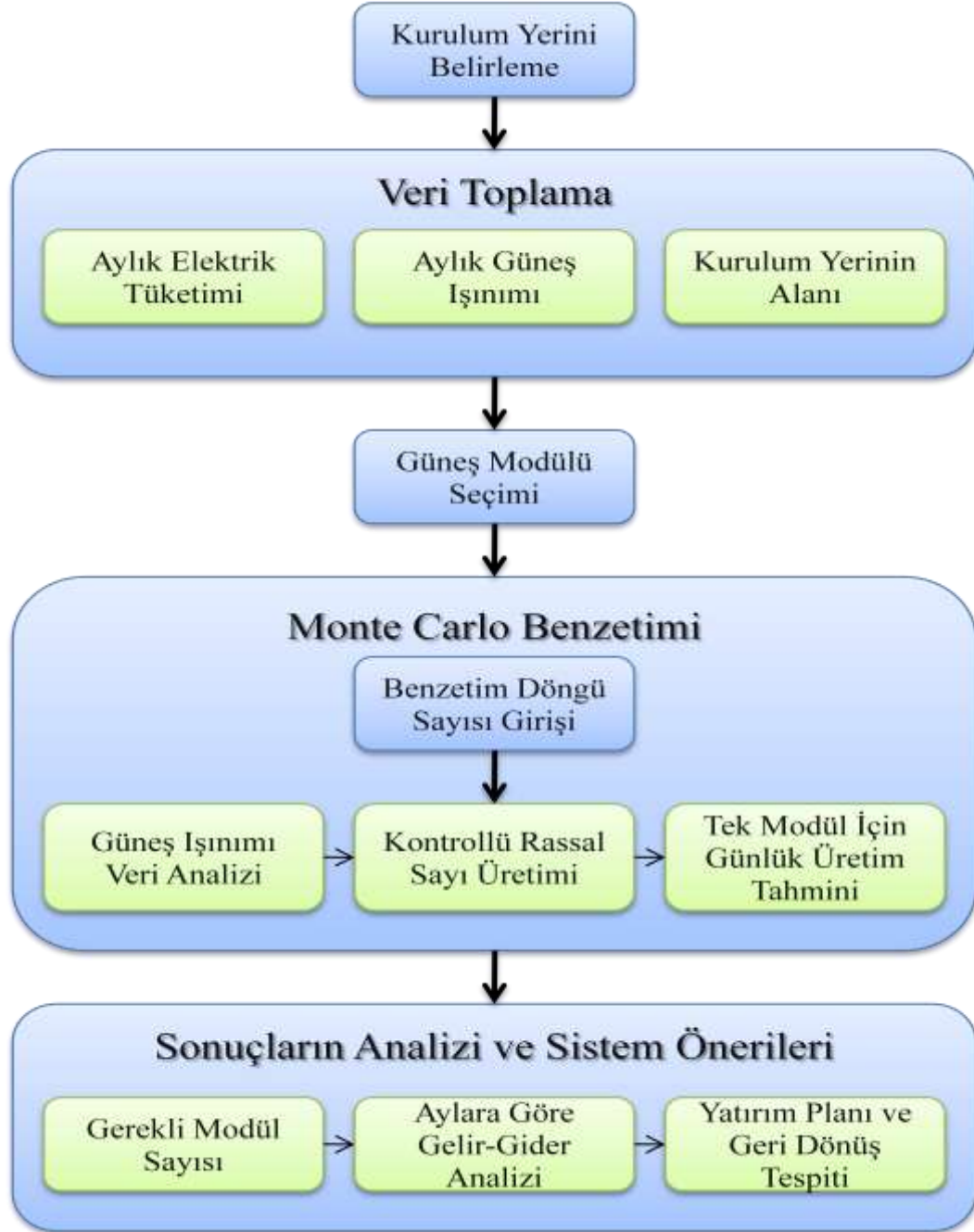


Şekil 5.1. İncekum Sitesi, Bozbük (Milas/Muğla)

Bu kısımda gerçekleştirilecek işlemleri üç ana başlıkta toplayabiliriz.

- Veri toplama,
- Benzetim,
- Sonuçların analizi.

Bu işlemlerin gerçekleştirilmesi sürecinde sırasıyla izlenecek adımlar Şekil 5.2’de sunulan akış şemasında yer almaktadır.



Şekil 5.2. Fotovoltaik sistem tasarımı akış şeması

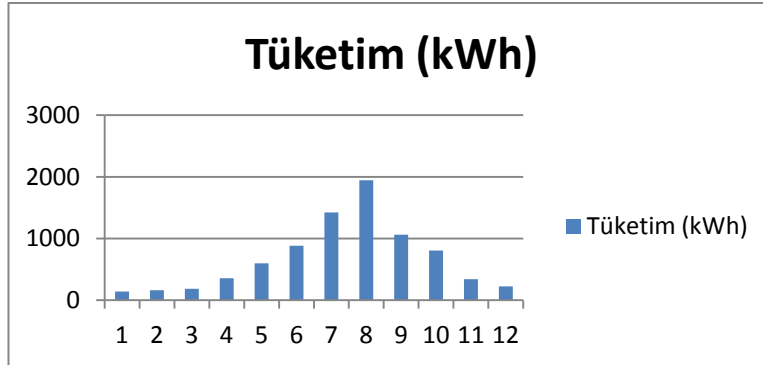
5.2. Verilerin Elde Edilmesi

5.2.1. İncekum Sitesi elektrik tüketim değerleri

Çizelge 5.1’de İncekum Sitesinin 2010 yılına ait aylık elektrik tüketim değerleri listelenirken Şekil 5.3’de bu değerlere ilişkin grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.1. İncekum Sitesi 2010 yılı elektrik tüketim değerleri

Ay	Tüketim (kWh)	Ortalama Tüketim (kWh/gün)
Ocak	141,5	5,05
Şubat	162,3	5,24
Mart	185	6,17
Nisan	355,7	11,47
Mayıs	598,8	19,96
Haziran	883,1	28,49
Temmuz	1423,3	45,90
Ağustos	1943,8	64,79
Eylül	1062,8	34,28
Ekim	805	26,83
Kasım	342,1	11,04
Aralık	225	7,26
Toplam	8128,4	



Şekil 5.3. İncekum Sitesi 2010 yılı elektrik tüketim değerleri

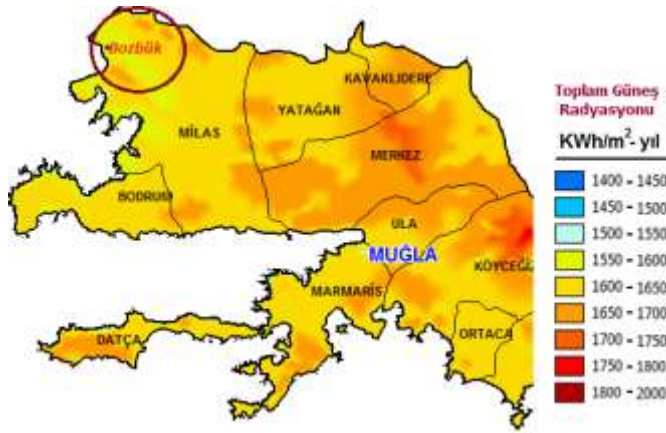
İncekum Sitesinde kış aylarında site bekçisi dışında kimse yaşamamaktadır. Kış aylarında tespit edilen günlük ortalama elektrik tüketimi değerleri incelendiğinde bir ailenin normal koşullarda tükettiği elektrik enerjisi miktarına yakın olduğu görülürken, tüketim değerleri yaz aylarında artış göstermekte ve

Ağustos ayında zirve noktasına ulaşmaktadır. Bu tüketim değerlerine sitenin aydınlatma, elektrikli motorlar gibi diğer elektrik tüketim kalemleri de dahildir.

5.2.2. Bozbük'ün güneş enerjisi potansiyeli

Güneşlenme potansiyeli, fotovoltaik enerjiye etki eden faktörlerin en başında yer almaktadır. Türkiye’de güneye doğru gidildikçe güneşlenme potansiyeli artış göstermektedir.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü [49], Türkiye’nin güneşlenme potansiyeli üzerine bir çalışma yürütmüş ve Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’nı (GEPA) hazırlamıştır. Bu atlas yardımıyla Türkiye’nin bütün illerine ait detaylı haritaya Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü’nün web sitesinden ulaşmak mümkündür. Bozbük köyü Muğla ili sınırlarında yer aldığı için Muğla iline ait atlas Şekil 5.4’de olduğu gibidir. Atlas incelendiğinde Bozbük köyü ve çevresinde yıllık güneş ışıınımı miktarının 1.700 kWh/m^2 ’ye ulaşabildiği görülmektedir.



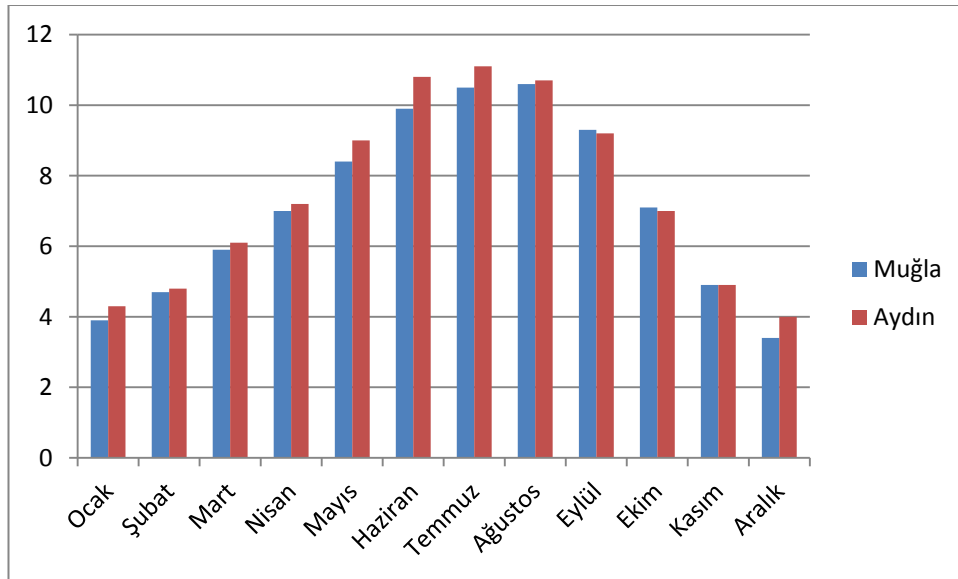
Şekil 5.4. Muğla ili güneş enerjisi potansiyeli atlası [49]

Güneşlenme potansiyelini öğrenmek için kullanabileceğimiz bir başka yöntem ise aylık ortalama güneşlenme sürelerini incelemektir. Türkiye’deki tüm illerin ve bazı ilçelerin aylık ortalama güneşlenme süreleri DMİ web sayfasından [50] elde edilebilmektedir. Çizelge 5.2’de Muğla ve Aydın illerine ait aylık ortalama güneşlenme süreleri yer almakta olup daha önce de değinildiği üzere bu çalışmada Aydın iline ait veriler kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. Muğla ve Aydın illeri için aylık ortalama güneşlenme süreleri [50]

Ay	Muğla Aylık Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Aydın Aylık Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)
Ocak	3,9	4,3
Şubat	4,7	4,8
Mart	5,9	6,1
Nisan	7	7,2
Mayıs	8,4	9
Haziran	9,9	10,8
Temmuz	10,5	11,1
Ağustos	10,6	10,7
Eylül	9,3	9,2
Ekim	7,1	7
Kasım	4,9	4,9
Aralık	3,4	4

Muğla ili Aydın'dan daha güneyde yer aldığı için güneşlenme süresinin daha yüksek olması beklenmektedir. Ancak Şekil 5.5'te yer alan grafik incelendiğinde, Aydın'a ait güneşlenme sürelerinin Muğla'ya oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında güneşlenme süresi, coğrafi konum, yağış, bulutluluk, yer şekilleri ve nem gibi faktörler kuşkusuz önemli rol oynamaktadır.



Şekil 5.5. Muğla ve Aydın için aylık ortalama güneşlenme süreleri

Güneş enerjisinden elektrik üretimi alanında yürütülen çalışmalarda güneşlenme süresinden çok güneş ışıınımı verilerinin kullanımı tercih edilmektedir. Metrekare başına elde edilebilecek enerji miktarı megajul (MJ/m^2) ya da kilowatt saat (kWh/m^2) cinsinden ifade edilmektedir. Çizelge 5.3'te sunulan ve bu uygulamada baz alınan veriler belirli bir yılı kapsamamakta olup, çok yıllık verilerin derlenmesiyle elde edilmiştir [51].

Çizelge 5.3. Aydın ili aylık güneş ışıınımı verileri (MJ/m^2) [51]

Gün	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1	9.88	11.82	17.48	17.53	20.57	26.92	27.02	22.25	20.94	16.25	12.81	9.34
2	8.66	11.54	5.37	18.67	17.77	27.44	24.08	24.78	22.09	15.85	11.96	7.79
3	5.88	12.28	15.02	22.29	13.24	16.62	26.87	24.5	20.2	14.99	7.46	8.39
4	9.39	12.66	5.17	22.97	27.02	24.51	27.42	24.64	21.06	12.79	8.39	5.11
5	9.43	11.85	12.03	23.31	21.51	25.64	25.89	24.97	21.69	16.22	6.57	5.5
6	7.01	9.07	17.38	24.29	27.36	22.78	27.36	24.16	21.97	17.33	10.38	6.71
7	7.48	11.05	16.45	20.49	23.21	28.03	24.39	22.26	22.22	16.94	7.4	5.18
8	10.45	13.14	15.54	21.72	7.82	28.68	26.47	22.13	22.76	16.73	11.92	9.78
9	9.94	12.96	16.43	21.86	21.07	24.28	25.14	25.06	21.68	16.9	12.08	10.21
10	9.46	11.64	16.5	19.06	27.96	23.66	25.74	24.56	21.98	16.9	13.06	7.66
11	10.22	5.34	16.73	21.04	28.12	27.78	27.01	24.76	21.19	14.35	12.7	9.58
12	11.05	14.17	18.85	23.8	26.74	26.82	27.96	25.29	21.12	15.87	12.16	9.83
13	9.62	3.79	15.52	24.12	27.44	27.98	27.28	24.21	20.88	15.61	12.04	8.07
14	9.68	7.87	18.98	5.11	25.84	27.95	26.84	24.41	20.92	16.21	11.94	9.12
15	9.06	4.47	19.98	24.1	20.64	27.75	26.36	24.34	20.38	14.34	11.32	8.54
16	7.11	1.61	18.84	23.82	26.72	21.05	27.45	23.8	20.03	14.8	10.93	9.28
17	8.17	14.27	17.33	22.76	22.78	25.27	27.49	22.85	19.78	14.49	10.71	9.49
18	9.37	16.2	18.98	24.81	24.16	22.1	27.81	24.25	20.8	14.47	6.54	8.21
19	7.86	15.95	20.97	12.52	27.6	28.21	25.27	23.41	19.58	13.97	3.16	1.34
20	4.23	15.42	20.12	26.86	14.89	29.59	26.17	23.37	19.26	13.09	4.95	3.16
21	4.27	15.52	11.19	23.04	11.93	28.32	25.12	23.11	19.72	13.19	10.26	8.38
22	2.63	15.6	11.12	20.59	26.95	27.69	25.29	21.55	19.72	13.12	9.95	8.07
23	10.64	13.17	16.44	26.84	21.55	27.08	25.19	22.76	19.31	12.44	9.67	9.02
24	12.29	16.44	19.46	22.28	25.06	27.28	26.59	23.33	19.09	11.63	7.33	2.17
25	12.29	16.4	19.15	2.12	25.78	27.06	25.8	23.53	18.89	11.79	5.25	4.91
26	10.51	15.85	7.68	11.7	28.86	26.01	25.64	22.62	18.94	10.94	7.92	1.75
27	2.91	6.22	19.21	22.88	27.7	27.85	25.34	22.79	17.86	11.79	3.78	9.39
28	4.63	1.26	17.45	13.17	27.35	28.18	24.16	24.24	18.89	11.83	7.45	6.63
29	10.5	-	12.79	11.68	28.66	28.57	25.84	24.85	18.46	10.23	1.68	6.19
30	10.63	-	18.24	26.81	28.41	26.37	24.78	23.42	17.06	11.28	10.81	2.06
31	13.07	-	20.79	-	28.09	-	25.18	22.23	-	12.18	-	9.32

Bu veriler metrekare başına elde edilebilecek enerjinin megajul cinsinden ifadesidir. Bu veriler, formül (1)'den yararlanılarak Çizelge 5.4'te görüldüğü üzere elektrik enerjisi birimi olan kilowatt saate (kWh) dönüştürülür.

$$1 \text{ kwh}/m^2 = 3,6 \text{ mj}/m^2 \quad (1)$$

Çizelge 5.4. Aydın ili aylık güneş ışınlamı verileri (kWh/m²)

Gün	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1	2.74	3.28	4.86	4.87	5.71	7.48	7.51	6.18	5.82	4.51	3.56	2.59
2	2.41	3.21	1.49	5.19	4.94	7.62	6.69	6.88	6.14	4.40	3.32	2.16
3	1.63	3.41	4.17	6.19	3.68	4.62	7.46	6.81	5.61	4.16	2.07	2.33
4	2.61	3.52	1.44	6.38	7.51	6.81	7.62	6.84	5.85	3.55	2.33	1.42
5	2.62	3.29	3.34	6.48	5.98	7.12	7.19	6.94	6.03	4.51	1.83	1.53
6	1.95	2.52	4.83	6.75	7.60	6.33	7.60	6.71	6.10	4.81	2.88	1.86
7	2.08	3.07	4.57	5.69	6.45	7.79	6.78	6.18	6.17	4.71	2.06	1.44
8	2.90	3.65	4.32	6.03	2.17	7.97	7.35	6.15	6.32	4.65	3.31	2.72
9	2.76	3.60	4.56	6.07	5.85	6.74	6.98	6.96	6.02	4.69	3.36	2.84
10	2.63	3.23	4.58	5.29	7.77	6.57	7.15	6.82	6.11	4.69	3.63	2.13
11	2.84	1.48	4.65	5.84	7.81	7.72	7.50	6.88	5.89	3.99	3.53	2.66
12	3.07	3.94	5.24	6.61	7.43	7.45	7.77	7.03	5.87	4.41	3.38	2.73
13	2.67	1.05	4.31	6.70	7.62	7.77	7.58	6.73	5.80	4.34	3.34	2.24
14	2.69	2.19	5.27	1.42	7.18	7.76	7.46	6.78	5.81	4.50	3.32	2.53
15	2.52	1.24	5.55	6.69	5.73	7.71	7.32	6.76	5.66	3.98	3.14	2.37
16	1.98	0.45	5.23	6.62	7.42	5.85	7.63	6.61	5.56	4.11	3.04	2.58
17	2.27	3.96	4.81	6.32	6.33	7.02	7.64	6.35	5.49	4.03	2.98	2.64
18	2.60	4.50	5.27	6.89	6.71	6.14	7.73	6.74	5.78	4.02	1.82	2.28
19	2.18	4.43	5.83	3.48	7.67	7.84	7.02	6.50	5.44	3.88	0.88	0.37
20	1.18	4.28	5.59	7.46	4.14	8.22	7.27	6.49	5.35	3.64	1.38	0.88
21	1.19	4.31	3.11	6.40	3.31	7.87	6.98	6.42	5.48	3.66	2.85	2.33
22	0.73	4.33	3.09	5.72	7.49	7.69	7.03	5.99	5.48	3.64	2.76	2.24
23	2.96	3.66	4.57	7.46	5.99	7.52	7.00	6.32	5.36	3.46	2.69	2.51
24	3.41	4.57	5.41	6.19	6.96	7.58	7.39	6.48	5.30	3.23	2.04	0.60
25	3.41	4.56	5.32	0.59	7.16	7.52	7.17	6.54	5.25	3.28	1.46	1.36
26	2.92	4.40	2.13	3.25	8.02	7.23	7.12	6.28	5.26	3.04	2.20	0.49
27	0.81	1.73	5.34	6.36	7.69	7.74	7.04	6.33	4.96	3.28	1.05	2.61
28	1.29	0.35	4.85	3.66	7.60	7.83	6.71	6.73	5.25	3.29	2.07	1.84
29	2.92	-	3.55	3.24	7.96	7.94	7.18	6.90	5.13	2.84	0.47	1.72
30	2.95	-	5.07	7.45	7.89	7.33	6.88	6.51	4.74	3.13	3.00	0.57
31	3.63	-	5.78	-	7.80	-	6.99	6.18	-	3.38	-	2.59

5.2.3. Kurulum yapılacak alanın belirlenmesi

Fotovoltaik sistem kurulum aşamasında karşılaşılan önemli karar problemlerinden biri de kurulum yerinin saptanması ve saptanan alana ne kadar sayıda güneş modülü dönebileceğidir. Konut uygulamalarında güneş modüllerinin çatıya döneşmesi kullanılan en uygun çözümlerden biridir. Hatta günümüzde yeni yapılan binalarda veya konutlarda çatının doğrudan güneş modülleriyle döneşendiğı tasarımlara rastlamaktayız.

Güneş modülleri ister çatıya, ister karayollarında gördüğümüz gibi aydınlatma lambasının üzerine yerleştirilsin, dikkat edilmesi gereken en önemli husus güneş modülünün bakış açısıdır. Kuzey Yarımküre için, modüllerin güneşe bakacak şekilde yerleştirilmesi maksimum performans sağlayacaktır. Bunun dışında çevrede güneş modüllerine gölge düşürecek veya beslendiğı güneş ışınımına engel olacak ağaç, apartman, direk gibi engelleyici unsurların olmamasına dikkat edilmelidir.

İncekum Sitesi için kurulum yerini belirlerken, sitenin ana girişinde yer alan otopark alanında, araç park yerlerini belirlemesi ve gölge sağlaması amacıyla kurulmuş çelik yapının kurulum için çok elverişli olduğı tespit edilmiştir. Güneye doğru hafif bir eğime sahip olan çelik yapının çevresinde de herhangi bir engelleyici unsur bulunmamaktadır. Bununla birlikte yapının genişliğinin 40 metre ve uzunluğunun de 3,5 metre olması yeterli sayıda güneş modülü döneşmesine imkan sağlamaktadır.



Şekil 5.6. İncekum Sitesi otopark alanı

5.3. Güneş Modülünün Seçimi

Güneş modülü seçimi, güneş pili sistemi kurulumundaki kilit noktalardan biridir. Sistemden üretmesi beklenen elektrik enerjisi miktarı, kurulumun yapılacağı yerin alanı gibi faktörler modül seçiminde dikkate alınması gereken hususlardır.

Güneş pili sisteminin üretebileceği enerji miktarını ölçmek için kullanılan yaygın ve basit bir yöntem vardır. Bu yöntemle göre seçilen güneş modülünün maksimum kapasitesi ile o bölgenin günlük güneşlenme süreleri çarpılarak, tek bir modülden bir günde elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı kabaca hesaplanabilmektedir. Ancak bahsi geçen yöntem yeterince bilimsel olmadığından ve çoğu etkeni göz ardı ettiğinden bu çalışmada tercih edilmemiştir. Bunun yerine seçilen modülün alan ve verimlilik değerlerinden faydalanan bir yöntem üzerinde durulmuş olup ilerleyen bölümlerde bu konu aydınlatılacaktır. Bu çalışma için, fiyat/performans oranı dikkate alınarak Kyocera KD 235GX-LPB model güneş modülü seçilirken ilgili modüle ait teknik bilgiler Çizelge 5.5'te sunulmaktadır.

Çizelge 5.5. Seçilen güneş modülüne ait bilgiler [52]

	Model Kyocera KD 235GX-LPB
	Yapısı Çok Kristal Silisyum
	Maksimum Kapasite 235 watt
	Ebatlar 166cm x 99cm x 4.6 cm
	Modül Alanı 1.6434 m ²
	Modül Verimliliği %16 (±1)
	Fiyat \$893

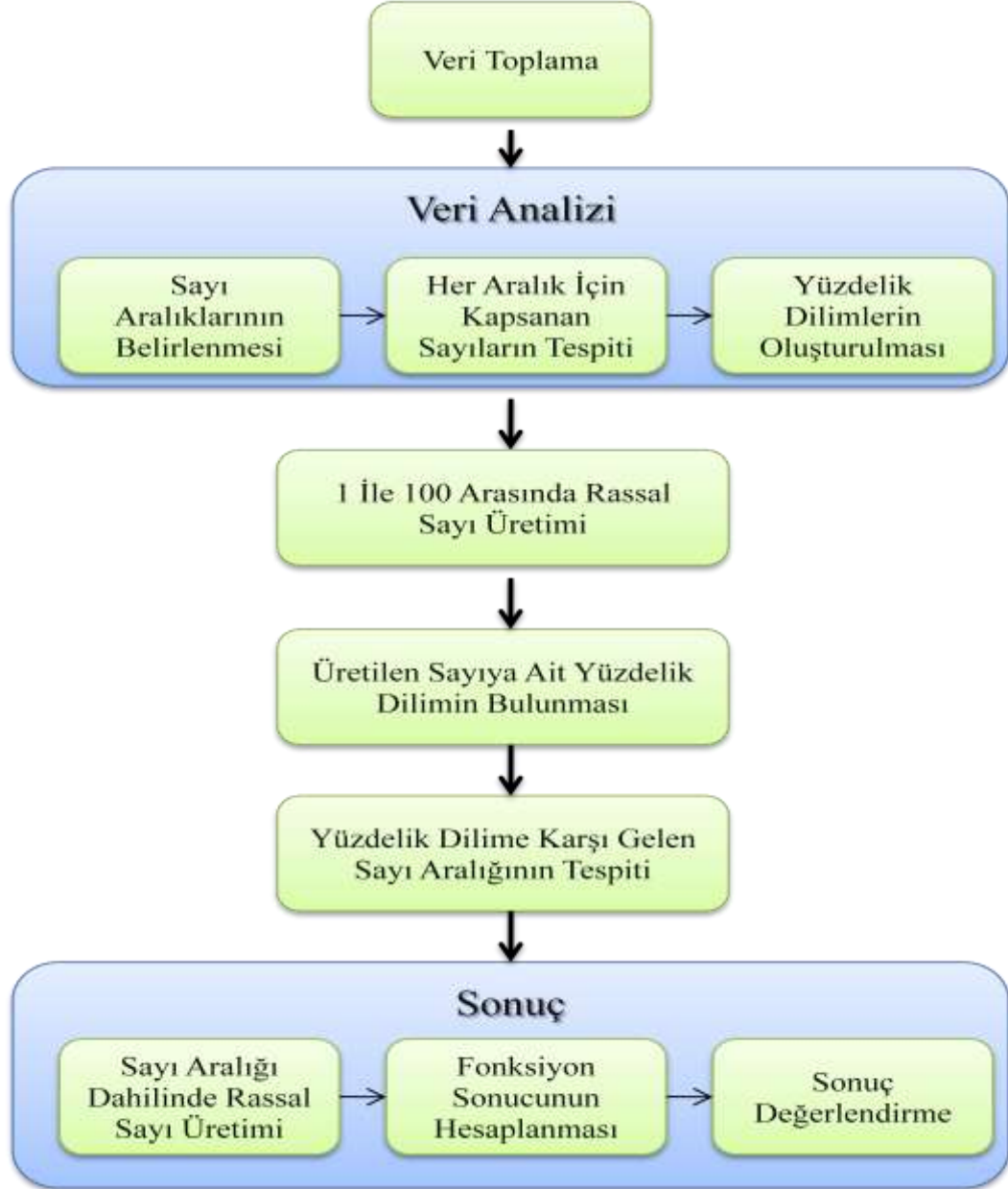
5.4. Benzetim Yöntemi

Benzetim, dinamik ya da belirsiz bir sistemin özelliklerini ve davranışlarını değerlendirmeye yarayan bir tekniktir. Farklı stratejilerin ve değişken davranışlarının sistem performansı üzerindeki etkisini gösterir. Benzetim sonucunda elde edilenler, istenen model karakteristiklerine ait birer tahmindir. Kısacası benzetim, geçmiş veriler ışığında gelecekteki sistemin davranışını tahmin etme tekniğidir.

Benzetim yöntemi, genellikle fiziksel ve matematiksel sistemlerin benzetiminde, rassal değişkenlerin sisteme etkisini incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Fotovoltaik enerji uygulamalarında önemli bir kısıt olarak kabul edilen güneş ışınlamı rastlantısal olarak değişen ve gün hatta saat bazında farklılık gösterebilen bir değişkendir.

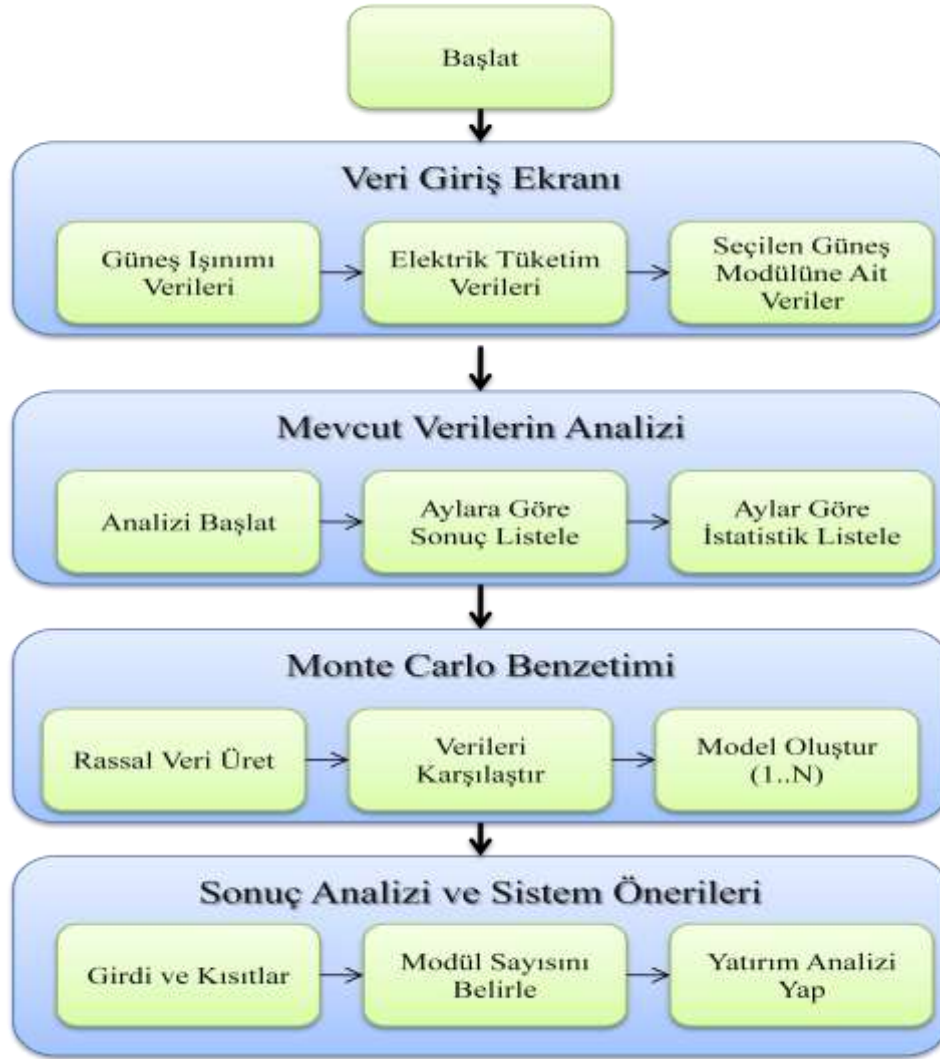
Seçilen bölge için gelecekteki güneş ışınlamının nasıl olacağı kesin olarak söylenememekle beraber mevcut verilere benzetim yöntemleri uygulanarak geleceğe ait tahminlerde bulunulabilir. Benzetim yöntemini kullanmak için öncelikle geçmiş yıllara ait verilerin derlenmesi gerekmektedir. Çizelge 6.3'te yer alan veriler bu uygulamada kullanacağımız verilerdir. Bu değerler elde edildikten sonra, mevcut veriler analiz edilir. Değerlerin hangi sayı aralıklarında yoğunlaştığı tespit edilir ve elde edilen yoğunluk sonuçlarına göre her aralık için bir yüzdelik dilim belirlenir. Bir sonraki aşamada rassal sayı üretilir ve bu rassal sayının hangi yüzdelik dilimde yer aldığına bakılır. Yüzdelik dilime karşılık gelen sayı aralığı tespit edilir ve bu aralıkta tekrar rassal bir sayı üretilir. Yoğunluğu fazla olan aralığın yüzdelik dilimi de büyük olacağından üretilecek rassal sayı değerlerinin mevcut değerlere yakın çıkması sağlanmış olur. Bu durumu kontrollü rassallık olarak adlandırabiliriz. Rassal sayı değerleri istenildiği kadar tekrar edilebilir ve sonuç incelendiğinde üretilen rassal sayılara ait ortalama, standart sapma gibi istatistiksel değerlerin mevcut verilere oldukça yakın çıkacağı görülür. Son aşamada ise üretilen rassal değerler bir fonksiyondaki değişkene atanır ve farklı durumlar için oluşabilecek sonuçlar tahmin edilmiş olur.

Benzetim sırasında gerçekleştirilen adımlar Şekil 5.7’de yer alan akış şemasında gösterilmektedir.

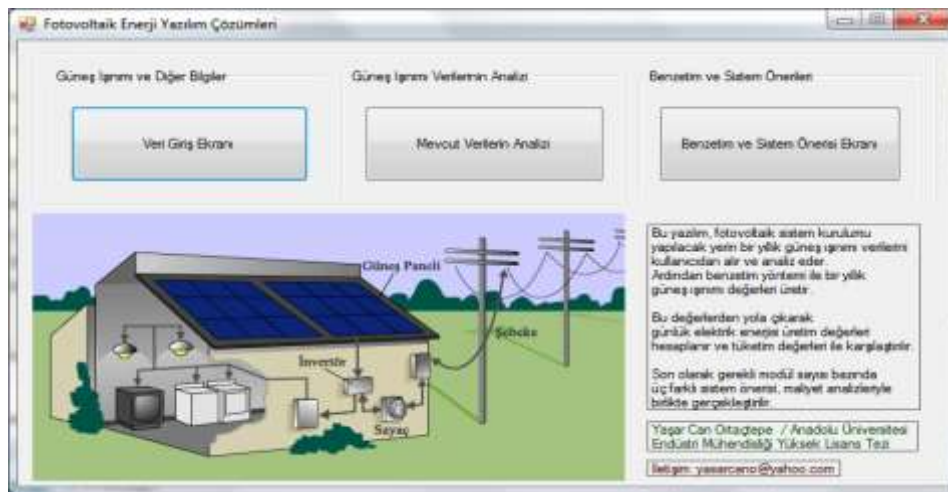


Şekil 5.7. Benzetim akış şeması

Bu çalışmada mevcut verileri analiz etmek, yeni üretilen benzetim verilerini elde etmek ve sonuçları yorumlamak amacıyla bir yazılım hazırlanmıştır. Bu yazılım sonucu elde edilen veriler ve ekran çıktıları yeri geldikçe sunulacak olup, yazılımın çalışma basamakları Şekil 5.8’de olduğu gibidir.



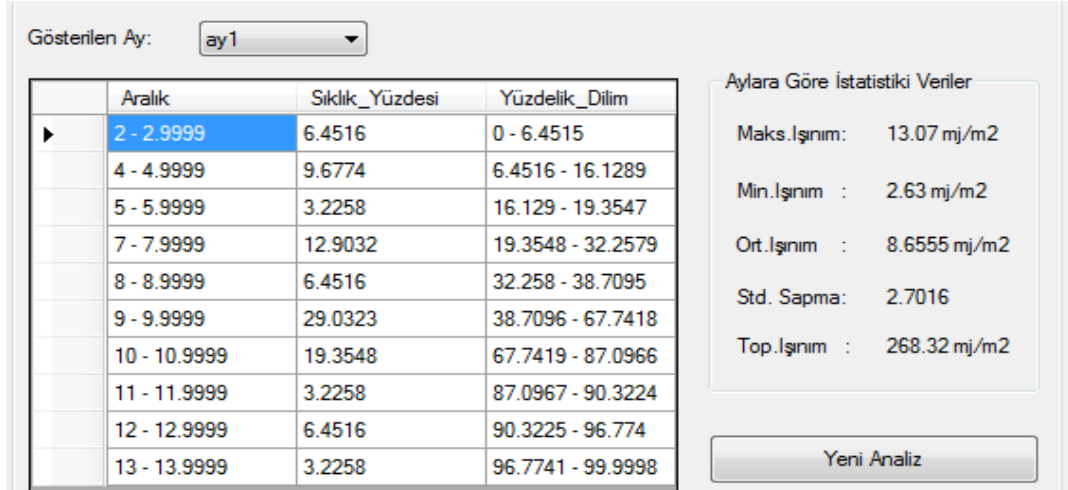
Şekil 5.8. Yazılım akış şeması



Şekil 5.9. Yazılım açılış ekranı

5.4.1. Mevcut verilerin analizi

Ocak ayında, güneş ışıını 8-12 MJ/m² aralığında yoğunlaşırken minimum ışıını 2,63 MJ/m², maksimum ışıını 13,07 MJ/m² ve toplam ışıını da 268,32 MJ/m² olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5.10'da Ocak ayına ait analiz sonucu yer alırken, Çizelge 5.6'da her ay için elde edilen analiz sonuçları yer almaktadır.



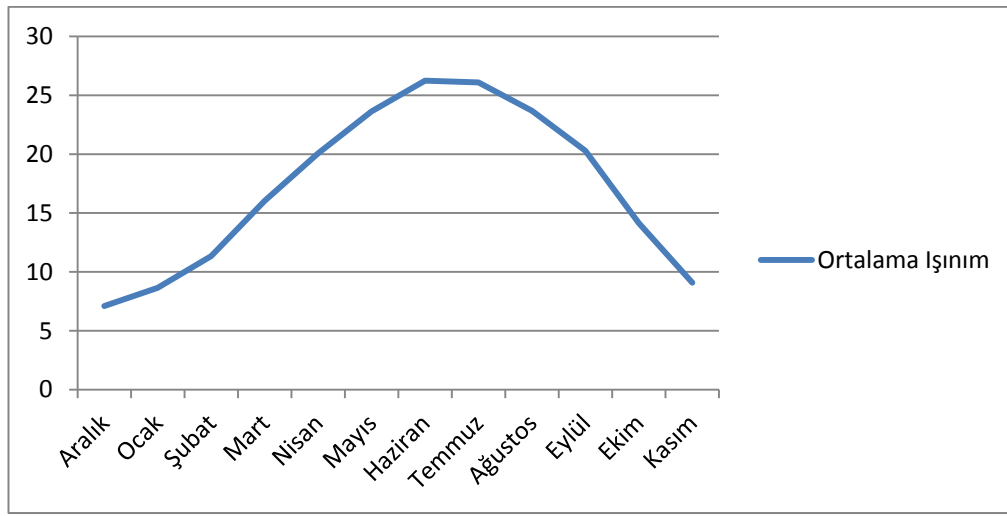
Şekil 5.10. Ocak ayı yazılım analiz çıktısı

Çizelge 5.6. Mevcut verilerin ay bazında analizi (MJ/m²) [52]

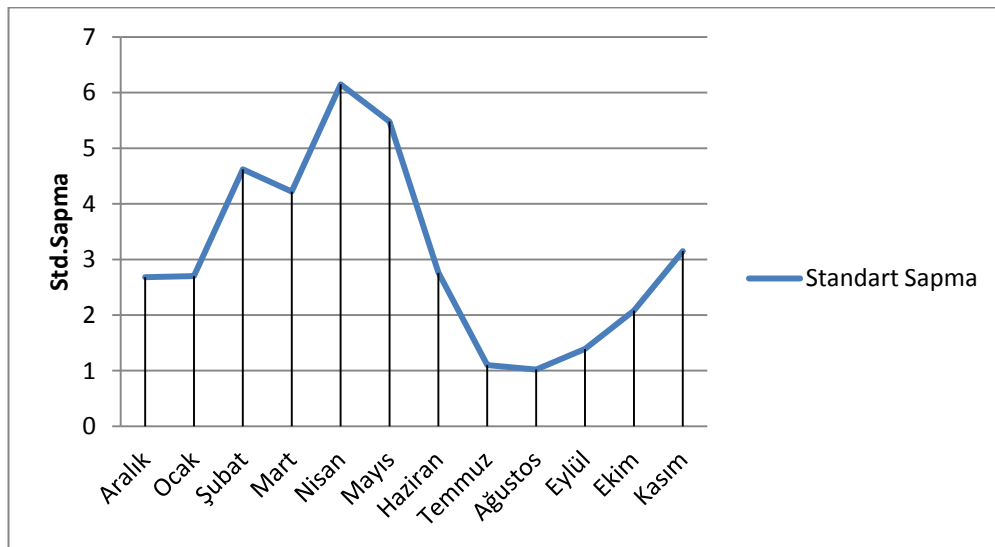
Aylar	Min. Işınım	Maks. Işınım	Ort. Işınım	Toplam Işınım
Ocak	2,63	13,07	8,65	268,32
Şubat	1,26	16,44	11,34	317,56
Mart	5,17	20,97	16,03	497,19
Nisan	2,12	26,86	20,07	602,24
Mayıs	7,28	28,86	23,63	732,8
Haziran	16,62	29,59	26,24	787,47
Temmuz	24,08	27,96	26,09	808,95
Ağustos	21,55	25,29	23,69	734,43
Eylül	17,06	22,76	20,28	608,47
Ekim	10,23	17,33	14,14	438,52
Kasım	1,68	13,06	9,08	272,58
Aralık	1,34	10,21	7,10	220,18

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de yer alan grafikler incelendiğinde ortalama güneş ışınımının beklendiği üzere bahar ve yaz aylarında arttığı görülmektedir. Haziran ve Temmuz aylarında en üst düzeye gelen ortalama güneş ışınımı Ağustos ve Eylül aylarında düşüşe geçmektedir. Bu durum 21 Haziran tarihinden sonra gündüz sürelerinin kısalmasının bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Standart sapmanın ise Şekil 5.12’de görüldüğü üzere bahar aylarında en yüksek seviyeye çıkması bahar yağmurları ve dengesiz hava koşullarıyla açıklanabilir. Yaz aylarında ise standart sapma minimum düzeye inmektedir.



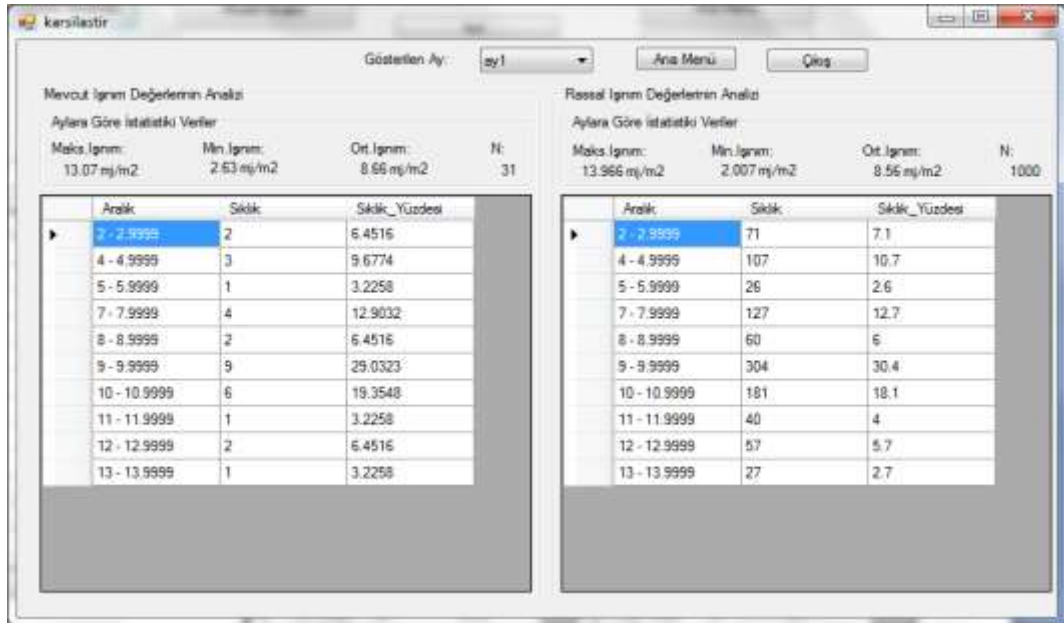
Şekil 5.11. Aydın ili aylara göre ortalama güneş ışınımı grafiği (MJ/m²)



Şekil 5.12. Aydın ili aylara göre standart sapma grafiği

5.4.2. Benzetim sonucu elde edilen güneş ışıını değeri

Hazırlanan yazılım vasıtasıyla benzetim yöntemi kullanılarak yeni bir güneş ışıını veri tablosu oluşturulmaktadır. Bu aşamada tekrar sayısı 1000 olarak seçilerek her ay için 1000 adet güneş ışıını değeri benzetimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tabloda yer alan değeri mevcut verilerle karşılaştırdığımız zaman maksimum ve minimum ışıını değeri ile ortalama ışıını değeri arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Ocak ayına ait yazılım tarafından gerçekleştirilen karşılaştırma tablosu ekran görüntüsü Şekil 5.13’de olduğu gibidir. Örneğin Ocak ayı için ışıını değeri 2 MJ/m² ile 2.9999 MJ/m² aralığında gerçekleşme ihtimali mevcut verilere göre % 6.45 iken benzetim sonucunda bu değeri % 7 olarak elde edilmiştir. Yine Ocak ayı için maksimum ışıını 13,07 MJ/m² iken, benzetim sonucu üretilen verilerde maksimum ışıını değeri 13,966 MJ/m² olarak, minimum ışıını 2,63 MJ/m² iken, 2,007 MJ/m² olarak, ortalama ışıını da 8,66 MJ/m² iken, 8,56 MJ/m² olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.13. Ocak ayı için benzetim sonucu elde edilen ışıını değeri analizi

Benzer şekilde diğer aylar için de “Gösterilen Ay” seçim kutusundan istenilen ay seçilerek karşılaştırma yapılabilir.

Çizelge 5.7’de yazılım tarafından gerçekleştirilen karşılaştırmaların bir dökümü yer almakta olup, mevcut verilerle benzetim verileri arasındaki tutarlılığın sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 5.7. Mevcut ısıtım verileriyle benzetim sonuçlarının karşılaştırılması (MJ/m²)

Ay	Maks. Isınım	Min. Isınım	Ort. Isınım
Ocak (Mevcut)	13.07	2.63	8.66
Ocak (Benzetim)	13.96	2.00	8.56
Şubat (Mevcut)	16.44	1.26	11.34
Şubat (Benzetim)	16.99	1.05	11.47
Mart (Mevcut)	20.97	5.17	16.04
Mart (Benzetim)	20.99	5.02	15.85
Nisan (Mevcut)	26.86	2.12	20.07
Nisan (Benzetim)	26.98	2.02	20.08
Mayıs (Mevcut)	28.86	7.82	23.64
Mayıs (Benzetim)	28.99	7.00	23.66
Haziran (Mevcut)	29.59	16.62	26.25
Haziran (Benzetim)	29.97	16.04	26.29
Temmuz (Mevcut)	27.96	24.08	26.10
Temmuz (Benzetim)	27.99	24.00	26.08
Ağustos (Mevcut)	25.29	21.55	23.69
Ağustos (Benzetim)	25.99	21.02	23.72
Eylül (Mevcut)	22.76	17.06	20.28
Eylül (Benzetim)	22.97	17.00	20.24
Ekim (Mevcut)	17.33	10.23	14.15
Ekim (Benzetim)	17.98	10.00	14.07
Kasım (Mevcut)	13.06	1.68	9.09
Kasım (Benzetim)	13.99	1.03	9.07
Aralık (Mevcut)	10.21	1.34	7.10
Aralık (Benzetim)	10.96	1.00	7.25

Bir sonraki aşamada her ay için üretilen 1000 adet güneş ışıını değeri arasından birinci aydan başlayarak ilgili aydaki gün sayısı kadar güneş ışıını değeri rassal olarak seçilir ve Çizelge 5.8’de görüldüğü üzere elimizdeki mevcut güneş ışıını verilerine benzeyen ancak benzetimle türetilen yeni bir yıllık veri tablosu elde ederiz. Bu sayede Bozbük’te bir sene içerisinde gerçekleşmesi tahmin edilen güneş ışıını değerlerini benzetim sonucu elde etmiş oluruz.

Çizelge 5.8. Benzetim sonucu elde edilen güneş ışıını değerleri (MJ/m²)

Gün	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1	11.69	14.39	12.86	21.85	26.41	21.42	25.10	21.76	20.55	11.64	12.89	10.36
2	10.19	15.44	5.81	23.44	17.81	28.95	26.74	22.62	19.25	15.18	7.20	8.19
3	9.89	13.81	16.44	24.09	24.74	27.69	26.78	23.97	20.71	12.01	11.12	3.34
4	4.36	11.32	19.14	22.39	28.59	27.41	25.15	22.35	18.93	12.04	9.55	9.82
5	9.54	13.20	16.95	26.15	27.05	25.25	26.02	24.16	21.52	10.15	12.18	8.11
6	10.03	7.87	18.50	18.79	23.88	26.20	27.85	22.31	21.82	10.30	6.15	10.46
7	9.74	5.59	19.82	12.77	13.92	29.64	26.17	24.34	20.68	16.37	6.49	8.04
8	2.21	15.61	16.45	22.44	25.93	27.08	24.15	24.18	20.89	16.37	13.61	10.91
9	2.93	14.64	15.11	22.58	26.45	28.51	24.47	22.01	20.51	11.58	7.05	6.77
10	7.86	16.81	12.25	26.15	24.74	25.34	25.74	24.05	21.91	11.05	12.81	9.02
11	7.74	7.50	20.16	17.37	28.61	22.31	25.05	22.93	20.44	11.58	6.73	1.40
12	8.98	15.78	18.31	22.22	25.24	27.90	24.13	23.01	20.68	12.17	7.02	3.26
13	11.68	11.96	11.84	22.32	21.72	27.24	26.71	25.02	20.69	11.52	7.15	6.14
14	4.30	16.53	17.23	21.64	27.62	28.12	25.63	22.36	20.98	15.88	11.13	9.50
15	10.69	15.40	17.85	12.08	27.41	28.05	25.41	22.15	20.48	12.13	11.42	9.82
16	9.89	15.45	20.36	22.90	27.64	25.13	25.67	22.34	18.93	12.68	10.95	9.12
17	9.53	11.37	16.93	26.54	21.39	27.03	24.39	23.97	20.48	14.58	7.42	4.17
18	9.25	16.43	5.32	22.13	28.33	26.32	26.03	21.66	18.89	11.53	6.01	3.28
19	9.08	9.84	17.54	24.56	27.88	23.37	25.73	25.88	18.46	13.82	10.45	9.38
20	9.12	12.25	20.61	24.72	28.11	27.66	26.46	22.94	19.88	13.35	4.48	1.61
21	9.96	11.50	5.14	2.85	26.82	27.34	25.97	24.92	19.72	11.19	12.33	5.65
22	7.40	16.82	7.66	22.26	17.71	26.96	25.90	24.51	20.85	13.73	10.26	7.98
23	10.63	11.72	19.59	18.04	27.73	27.05	25.72	23.34	21.37	13.13	10.42	9.86
24	13.86	12.85	15.60	5.23	26.04	27.62	27.84	22.62	22.72	11.66	6.74	2.28
25	7.07	11.80	18.60	21.61	20.53	28.86	27.61	22.06	21.24	12.78	3.75	8.32
26	12.73	14.23	5.17	26.18	28.65	27.69	25.10	24.63	19.47	16.45	10.53	7.51
27	9.44	3.49	20.97	18.16	25.75	27.37	25.01	22.03	20.46	13.98	11.56	9.90
28	9.77	5.96	11.49	2.51	13.57	26.61	25.37	24.64	21.09	16.19	8.71	3.85
29	10.69	-	20.19	22.51	27.50	27.41	27.30	24.39	20.09	11.50	12.85	10.91
30	2.68	-	15.45	23.44	27.89	23.29	25.86	24.34	20.47	11.42	8.52	1.54
31	9.36	-	11.63	-	21.73	-	24.44	22.96	-	13.29	-	6.26

Bu veriler metrekare başına elde edilebilecek enerjinin megajul cinsinden ifadesidir. Bu veriler formül (1)'den yararlanılarak kilowatt saate (kWh) dönüştürülür. Elde edilen veriler Çizelge 5.9'da sunulmaktadır.

Çizelge 5.9. Benzetim sonucu elde edilen güneş ışınlımı değerleri (kWh/m²)

Gün	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1	3.25	4.00	3.57	6.07	7.34	5.95	6.97	6.04	5.71	3.23	3.58	2.88
2	2.83	4.29	1.61	6.51	4.95	8.04	7.43	6.28	5.35	4.22	2.00	2.28
3	2.75	3.84	4.57	6.69	6.87	7.69	7.44	6.66	5.75	3.34	3.09	0.93
4	1.21	3.15	5.32	6.22	7.94	7.61	6.99	6.21	5.26	3.35	2.65	2.73
5	2.65	3.67	4.71	7.26	7.52	7.01	7.23	6.71	5.98	2.82	3.38	2.25
6	2.79	2.19	5.14	5.22	6.63	7.28	7.74	6.20	6.06	2.86	1.71	2.90
7	2.70	1.55	5.50	3.55	3.87	8.23	7.27	6.76	5.74	4.55	1.80	2.23
8	0.61	4.34	4.57	6.23	7.20	7.52	6.71	6.72	5.80	4.55	3.78	3.03
9	0.82	4.07	4.20	6.27	7.35	7.92	6.80	6.11	5.70	3.22	1.96	1.88
10	2.18	4.67	3.40	7.27	6.87	7.04	7.15	6.68	6.09	3.07	3.56	2.51
11	2.15	2.08	5.60	4.82	7.95	6.20	6.96	6.37	5.68	3.22	1.87	0.39
12	2.49	4.38	5.09	6.17	7.01	7.75	6.70	6.39	5.74	3.38	1.95	0.91
13	3.24	3.32	3.29	6.20	6.03	7.57	7.42	6.95	5.75	3.20	1.98	1.71
14	1.19	4.59	4.79	6.01	7.67	7.81	7.12	6.21	5.83	4.41	3.09	2.64
15	2.97	4.28	4.96	3.36	7.62	7.79	7.06	6.15	5.69	3.37	3.17	2.73
16	2.75	4.29	5.65	6.36	7.68	6.98	7.13	6.20	5.26	3.52	3.04	2.53
17	2.65	3.16	4.70	7.37	5.94	7.51	6.77	6.66	5.69	4.05	2.06	1.16
18	2.57	4.56	1.48	6.15	7.87	7.31	7.23	6.02	5.25	3.20	1.67	0.91
19	2.52	2.73	4.87	6.82	7.74	6.49	7.15	7.19	5.13	3.84	2.90	2.60
20	2.53	3.40	5.73	6.87	7.81	7.68	7.35	6.37	5.52	3.71	1.24	0.45
21	2.77	3.19	1.43	0.79	7.45	7.59	7.21	6.92	5.48	3.11	3.42	1.57
22	2.06	4.67	2.13	6.18	4.92	7.49	7.19	6.81	5.79	3.82	2.85	2.22
23	2.95	3.26	5.44	5.01	7.70	7.51	7.14	6.48	5.93	3.65	2.89	2.74
24	3.85	3.57	4.33	1.45	7.23	7.67	7.73	6.28	6.31	3.24	1.87	0.63
25	1.96	3.28	5.17	6.00	5.70	8.02	7.67	6.13	5.90	3.55	1.04	2.31
26	3.54	3.95	1.44	7.27	7.96	7.69	6.97	6.84	5.41	4.57	2.93	2.09
27	2.62	0.97	5.82	5.05	7.15	7.60	6.95	6.12	5.68	3.88	3.21	2.75
28	2.71	1.65	3.19	0.70	3.77	7.39	7.05	6.85	5.86	4.50	2.42	1.07
29	2.97	-	5.61	6.25	7.64	7.61	7.58	6.78	5.58	3.19	3.57	3.03
30	0.74	-	4.29	6.51	7.75	6.47	7.18	6.76	5.69	3.17	2.37	0.43
31	2.60	-	3.23	-	6.04	-	6.79	6.38	-	3.69	-	1.74

5.4.3. Modül başı günlük elektrik üretim değerinin hesaplanması

Güneş ışınlamı değerleri tablomuzu oluşturduktan sonra modül başı günlük elektrik enerjisi üretim değerleri artık hesaplanabilir. Güneş modülünün ürettiği net elektrik enerjisini hesaplariken formül (2)'den faydalanılır [1].

$$E_{PV} = N_p \cdot N_D \cdot A \cdot G \quad (2)$$

Bu formülde N_p güneş modülü verimi, N_D diğer güç çevrim ve elektronik cihazların toplam verimi, A modül alanı ve G de birim alana düşen güneş ışınlamıdır [1].

Bu uygulama için seçtiğimiz Kyocera KD 235GX-LPB model güneş modülüne ait verimlilik değeri %16 (± 1) olup, N_p değeri %15 ile %17 arasında her gün için rassal olarak üretilecek değer ile temsil edilecektir.

Seçilen güneş modülünün sahip olduğu ebatlardan yola çıkarak modül alanının (A) hesaplanması gerekmektedir. Uzunluğu 166 cm olan güneş modülünün genişliği ise 99 cm olarak bildirilmiştir. Buradan yola çıkarak modül alanı $1,64 \text{ m}^2$ olarak hesaplanır.

Örnek sistemde akü ve şarj regülatörü kullanımına gerek olmadığından, bu cihazlarda yaşanacak verim kayıplarının göz önünde bulundurulmasına gerek yoktur. Yalnızca kullanımı kaçınılmaz olan invertör ve kablo gibi donanımlarda gerçekleşebilecek kayıpları göz önünde bulundurmamız yeterlidir. Standart bir invertör için öngörülen ortalama verim %95 olup, bu uygulamada N_D değeri %90 ile %100 arasında her gün için rassal olarak üretilecek değer ile temsil edilecektir.

Birim alana düşen güneş ışınlamı değeri ise yazılım tarafından oluşturulan veritabanından gün bazında çekilir ve MJ/m^2 cinsinden kWh/m^2 'ye dönüştürülür. Böylelikle formül (2) kullanılarak tek bir güneş modülünün bir gün içerisinde üretebileceği net elektrik enerjisi hesaplanmış olur.

Çizelge 5.8'den alınan ışınlamı değerleri ve yukarıdaki bilgiler ışığında yazılım tarafından elde edilen sonuçlar içerisinde örnek olması amacıyla sunulan örnekler Çizelge 5.10'da, benzetim sonucu elde edilen gün bazında üretilecek net elektrik enerjisi değerleri ise Çizelge 5.11'de listelenmiştir.

Çizelge 5.10. Modül başına net elektrik enerjisinin hesaplanması örneği

Ay	Gün	Modül Alanı (m ²)	Güneş Işınımı (kWh/m ²)	Modül Verimliliği	Donanım Verimliliği	Üretim Miktarı (kWh)
Ocak	6	1.64	2.78	%16,64	93%	0.7
Nisan	24	1.64	1.45	%16,31	%99,5	0.39
Temmuz	2	1.64	7.42	%15,47	%93,7	1.76

Çizelge 5.11. Modül başına üretilen günlük net elektrik enerjisinin dökümü (kWh)

Gün	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1	0.79	1.00	0.88	1.63	1.78	1.46	1.68	1.57	1.45	0.83	0.87	0.73
2	0.69	0.96	0.39	1.68	1.23	1.91	1.76	1.71	1.34	1.08	0.52	0.55
3	0.63	0.92	1.16	1.72	1.64	1.97	1.80	1.62	1.35	0.85	0.75	0.22
4	0.30	0.84	1.36	1.67	2.02	1.94	1.60	1.56	1.24	0.91	0.65	0.70
5	0.70	0.86	1.16	1.85	2.02	1.86	1.78	1.65	1.49	0.67	0.84	0.53
6	0.70	0.56	1.36	1.40	1.69	1.73	1.95	1.57	1.49	0.70	0.41	0.76
7	0.65	0.39	1.42	0.87	0.96	1.97	1.70	1.66	1.30	1.13	0.42	0.53
8	0.15	1.11	1.13	1.52	1.84	1.82	1.67	1.58	1.33	1.13	0.98	0.74
9	0.20	1.09	1.04	1.46	1.82	1.93	1.72	1.45	1.51	0.72	0.46	0.44
10	0.53	1.15	0.88	1.72	1.64	1.66	1.78	1.60	1.61	0.82	0.85	0.56
11	0.52	0.53	1.48	1.15	1.91	1.41	1.69	1.49	1.38	0.74	0.49	0.11
12	0.64	1.12	1.28	1.43	1.61	2.02	1.63	1.59	1.40	0.78	0.48	0.24
13	0.81	0.87	0.89	1.57	1.49	1.90	1.89	1.84	1.44	0.85	0.47	0.42
14	0.31	1.17	1.19	1.41	1.87	1.82	1.90	1.40	1.44	1.08	0.82	0.67
15	0.73	1.03	1.31	0.88	2.00	1.90	1.80	1.52	1.52	0.82	0.75	0.67
16	0.63	1.12	1.38	1.49	1.82	1.70	1.90	1.45	1.27	0.90	0.76	0.61
17	0.67	0.83	1.27	1.91	1.39	1.89	1.64	1.68	1.32	1.06	0.49	0.30
18	0.68	1.13	0.36	1.43	1.82	1.89	1.99	1.51	1.42	0.77	0.38	0.22
19	0.64	0.74	1.17	1.69	1.97	1.60	1.79	1.76	1.32	0.87	0.74	0.66
20	0.58	0.86	1.43	1.85	1.81	1.84	1.96	1.68	1.30	0.95	0.32	0.11
21	0.67	0.77	0.34	0.19	1.80	2.04	1.66	1.58	1.24	0.81	0.89	0.39
22	0.54	1.09	0.52	1.59	1.25	1.79	1.83	1.67	1.44	0.89	0.68	0.60
23	0.74	0.80	1.37	1.30	2.00	1.91	1.75	1.67	1.46	0.84	0.74	0.75
24	0.92	0.92	1.05	0.39	1.78	1.92	2.03	1.54	1.50	0.77	0.49	0.16
25	0.48	0.88	1.35	1.49	1.52	2.00	1.78	1.58	1.52	0.86	0.28	0.54
26	0.82	1.01	0.35	1.84	1.83	1.97	1.74	1.69	1.24	1.10	0.74	0.47
27	0.61	0.22	1.34	1.23	1.77	1.89	1.70	1.44	1.45	0.92	0.81	0.66
28	0.61	0.44	0.83	0.18	1.02	1.87	1.63	1.77	1.45	1.20	0.57	0.28
29	0.69	-	1.36	1.44	1.86	1.96	1.81	1.63	1.48	0.83	0.88	0.74
30	0.18	-	1.09	1.78	1.91	1.66	1.81	1.75	1.29	0.75	0.60	0.10
31	0.63	-	0.77	-	1.56	-	1.70	1.59	-	0.93	-	0.45
Ort	0.59	0.87	1.06	1.39	1.70	1.84	1.78	1.61	1.40	0.89	0.64	0.48

5.5. Farklı Amaçlar İçin Sistem Önerileri

Benzetim sonucu elde edilen verileri incelersek, tek bir güneş modülüyle kış aylarında günlük 0,5-0,6 kWh elektrik üretimi mümkünken, yaz aylarında bu değer 2 kWh'a yaklaşmaktadır. Kış aylarında 4-5 saat arasında olan güneşlenme süresinin yaz aylarında 11-12 saate çıkmasının etkisi açıkça görülmektedir.

Bununla birlikte kış aylarında üretimin az olması, çalışmanın yürütüldüğü İncekum Sitesi için problem teşkil etmemektedir. Daha önce de belirtildiği gibi yazlık amaçla kullanılan bu sitede kış aylarında elektrik tüketimi oldukça azalmaktadır. Yaz aylarında ise üretimin artmasına karşın, tüketimin de aşırı derecede artması, modül kapasitesi kararında belirleyici olmaktadır.

Sonuçların analiz edilmesi ve sistem önerilerinin kullanıcıya sunulması aşamasında yine hazırlanan yazılımdan faydalandım. Sistem önerileri ekranında “analiz et” butonuna basılmadan önce kullanıcı tarafından girilmesi gereken bazı parametreler bulunmaktadır. Şekil 5.14’de de görüldüğü üzere güneş modülünün fiyatı, invertör birim fiyatı, kurulum maliyeti yüzdesi, şebekeye satış ve şebekeden alış fiyatı gibi parametreler tanımlanmalıdır.

Girdiler			
Güneş Modülü Fiyatı(₺/br):	1400	Şebekeye Satış Fiyatı (kWh/₺):	0.27
Modülün Boyu(cm) :	166	Kurulum Alanının Boyu(cm):	350
Invertör Birim Fiyatı(₺/W) :	1.8	Şebekeden Alış Fiyatı (kWh/₺):	0.27
Modülün Eni(cm) :	99	Kurulum Alanının Eni(cm) :	4000
Kurulum Maliyeti (%) :	10	Vergi Yüzdesi (%) :	18
Modül Çıkış Gücü(W):	235	<button>Analiz Et</button>	

Şekil 5.14. Yazılım sistem önerisi veri girişi

Seçilen güneş modülünün (Kyocera KD 235GX-LPB) birim fiyatı, Altes Store [52] ‘da 893 dolar olarak verilmiştir. Günümüz kur değerlerinde bu değer yaklaşık olarak 1400 liraya denk gelmektedir.

Invertör maliyeti belirlenirken öncelikle sistemin kurulu gücü doğrultusunda invertörün sahip olması gereken çıkış gücü tespit edilmelidir. Şebekeye bağlı sistemler için invertör çıkış gücünün, fotovoltaik sistemin toplam kurulu modül gücünden yaklaşık %10 daha fazla olması tavsiye edilmektedir [27].

Çizelge 5.12’de listelenen invertör fiyatları doğrultusunda birim fiyat çıkarımı yapılabilmektedir.

Çizelge 5.12. İnvörtör fiyat listesi [53]

İnvörtör Modeli	AC Güç	Verim	Fiyat
PVI 13kW-208VAC	13,2 kW	94.00%	\$15.230
PVI 13kW-480VAC	13,2 kW	94.50%	\$15.430
PVI 15kW-208VAC	15 kW	94.00%	\$17.230
PVI 15kW-480VAC	15 kW	94.50%	\$17.430
PVI 60kW-208VAC	60 kW	94.00%	\$51.900

15 kW ve altındaki çıkış gücüne sahip modeller için birim fiyat 1 \$/W’tan biraz daha fazlayken, çıkış gücü arttıkça birim fiyatın 1 \$/W’ın altında düştüğü görülmektedir. İncekum Sitesi için kurulacak sistemlerde gerekli invertör çıkış gücünün 5 kW ile 20 kW arasında değişeceği öngörüsünden ve çizelgedeki değerlerden yola çıkarak, invertör birim fiyatı 1,15 \$/W olarak alınabilir. Bu da yaklaşık olarak 1,8 TL/W’a denk gelmektedir.

Her ne kadar güneş pili sistem tasarımı şebeke bağlantılı sistem fikri benimsenmiş ve uygulanmış olsa da şebekeden sadece elektrik alışının olduğu (satışın olmadığı) ve şebeke bağlantısının olmadığı (akü kullanıldığı) durumlar da bu çalışmada incelenmiş olup her sistem önerisi için bu durumlar da analiz edilmiştir. Bu doğrultuda şebekeden bağımsız sistemler için akü ve şarj regülatörü maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Akü seçimi yapılırken kurulum alanındaki ortalama elektrik tüketim değeri baz alınmaktadır. Buna ek olarak kurulum alanının sahip olduğu fiziksel koşullar da göz önüne alınabilmektedir. Örnek vermek gerekirse kurulacak akü kapasitesinin 3-4 gün ya da daha fazla süre tüketimi karşılaması beklenebilmektedir. Şarj regülatörü seçiminde dikkat edilmesi gereken nokta ise şarj regülatörünün maksimum akıma dayanıklı olması ve akü voltaj değeriyle uyumlu olmasıdır [54]. Bu çalışma için kullanılması uygun görülen akü ve şarj regülatörüne ait özellikler Çizelge 5.13’te listelenmiş olup gereksinim duyulacak akü ve şarj regülatörü sayısına göre maliyetler hesaplanabilmektedir.

Çizelge 5.13. Akü ve şarj regülatörüne ait özellikler [54]

Donanım	Teknik Özellikler	Fiyat
Akü	12 V 200 AH	650 TL
Şarj Regülatörü	12 V 60 A	450 TL

Bir diğer maliyet kalemi olan kurulum maliyeti hesaplanırken, daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere kurulum maliyetinin, toplam maliyet içindeki oranının yaklaşık olarak %10 olduğu bilgisinden faydalanılmıştır.

Şebekeye satış ve şebekeden alış fiyatları ele alındığında, günümüz koşullarında şebekeden alış fiyatı net 0,16 TL/kWh olarak gözükse de vergilerle birlikte brüt değer 0,27 TL/kWh'a denk gelmektedir. 2010 yılında çıkan yasaya göre devlet 5 yıl süreyle net 0,2 TL/kWh üzerinden elektrik enerjisini satın alacağını beyan etmiş olsa da, bu yasa barındırdığı eksiklikler ve teşvik yetersizliği dolayısıyla cazip duruma gelememiştir. Yurtdışındaki uygulamalarda devlet güneş pili sistemleri için teşvik verir, en az 20 yıl satın alma garantisinde bulunur ve şebekeye satış fiyatı, şebekeden alış fiyatından (vergiler dahil) daha az olmayacak şekilde belirlenir. Bu çalışmada şebekeye satış ve şebekeden alış fiyatları eşit kabul edilirken, satın alma garantisinin sınırsız olduğu varsayımında bulunulmuştur.

Modül kapasitesini belirledikten sonra toplam kurulu güç hesaplanır ve buradan da sisteme monte edilecek invertörün sahip olması gereken özellikler tespit edilir. İnvertör çıkış gücü hesaplanıp birim fiyatla çarpılarak invertör maliyeti elde edilir. Elde edilen sonuç güneş modüllerinin maliyetiyle toplanarak cihaz maliyeti tespit edilmiş olur. Bu maliyetin üstüne kurulum maliyeti olarak ele alacağımız nakliye, kablolama, montaj maliyetleri ve yasal KDV yüzdesi eklenerek sistemin toplam maliyeti tespit edilmiş olur.

Maliyetler tespit edildikten sonra belirlenmiş modül kapasitesine göre yıllık elektrik enerjisi üretimi hesaplanır. Günlük ortalama elektrik tüketim ve benzetim sonucu elde edilen günlük elektrik üretim değerlerinden yola çıkarak bir yıl içerisinde şebekeden ne kadar elektrik enerjisi satın alınacağı ve şebekeye ne kadar elektrik enerjisi satılacağı tespit edilir. Burada şebekeden alınacak ve şebekeye satılacak elektrik enerjisinin tespitinde gece tüketilen elektrik enerjisinin

zorunlu olarak şebekeden alınacağı gerçeğini hesaplamalara yansıtmamıza gerek yoktur. Bunun sebebi, farklı bölgelerde ve sayaçlarda gece ve gündüz tüketimleri farklı fiyatlandırılrsa da bu çalışma için bu değerler eşit olarak kabul edilmiştir ve gece tüketiminden kaynaklanan elektrik enerjisi alımı, gündüz elde edilen fazla elektrik enerjisinin şebekeye satılması ile dengelenecektir. Bir örnekle açıklamak gerekirse, günlük tüketimi 15 kWh kabul edelim. Bunun 10 kWh kadarı gündüz, 5 kWh kadarı da gece tüketilsin. Günlük elektrik enerjisi üretimimiz ise 20 kWh olsun. Gündüz 10 kWh fazla enerji şebekeye satılır, gece ise 5 kWh enerji şebekeden alınır. Sonuç olarak satış ve alış (gece-gündüz) fiyatları eşit alındığından o gün için şebekeye satılan enerji miktarını 5 kWh olarak kabul edebiliriz.

Bu hesaplamaların ardından şebekeye satılan elektrik enerjisi geliri ile elektrik enerjisinin fotovoltaik sistem tarafından karşılanmasının sağlayacağı getiri toplanarak bir yılda ne kadar kazanç sağlanabileceği hesaplanır. Son olarak da toplam yatırım maliyeti, yıllık kazanca bölünerek yatırımın geri dönüş süresi hesaplanmış olur. Bu noktada site sakinlerinin yıllık ortalama elektrik tüketim değerlerinin, şebekeden alış ve şebekeye satış fiyatlarının sabit kalacağı varsayımında bulunulmuştur.

Maliyet analizlerinin nasıl yapılacağına değindikten sonra kullanılacak modül sayısı bazında birbirinden ayrılan sistem önerilerinin oluşturulması aşamasına geçilir. Şebekeye bağlı sistemlerde fotovoltaik sistemin kapasitesine karar verilirken en çok uygulanan üç yöntem vardır. Bunlardan ilki aylık ya da günlük ortalama elektrik tüketim değerine göre kapasitenin belirlenmesidir. İkinci yöntemde ise en kötü senaryoya göre yani tüketimin üretime oranının en büyük olduğu ay analiz edilerek modül kapasitesi belirlenir. Üçüncü yöntemde de kurulum alanı kısıtına göre hareket edilir ve dönebilecek maksimum modül sayısı tespit edilir. Sistem önerileri öncelikli olarak şebeke bağlantılı sistem düşünülerek hazırlanmış olmakla beraber, ileride kişisel kullanıcıların da faydalanabilmesi amacıyla şebeke bağlantılı (sadece alış) ve şebekeden bağımsız (akü kullanılan) sistem tasarımlarına ait yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen ekonomik analiz değerlerine de ek bilgi olarak yer verilmektedir.

5.5.1. Günlük ortalama elektrik tüketimine göre sistem önerisi

Bu yöntemde günlük ortalama elektrik tüketim değeri, modül başı günlük ortalama elektrik üretim değerine bölünerek modül kapasitesi belirlenir. Çizelge 5.14'te modül başı aylara göre günlük ortalama elektrik üretim değerleri yer almakta olup, tüm ayların ortalaması 1,19 kWh/gün olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.14. Modül başı günlük ortalama elektrik üretim değerleri (kWh/gün)

	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	Ort
Ort	0,59	0,87	1,06	1,39	1,7	1,84	1,78	1,61	1,4	0,89	0,64	0,48	1,19

İncekum Sitesi elektrik tüketim değerlerini ele aldığımızda günlük ortalamanın Çizelge 5.15'te görüldüğü üzere 22,2 kWh/gün olarak bulunmaktadır.

Çizelge 5.15. İncekum Sitesi 2010 yılı elektrik tüketim ortalamaları

Ay	Tüketim (kWh)	Ortalama Tüketim (kWh/gün)
Ocak	141,5	5,05
Şubat	162,3	5,24
Mart	185	6,17
Nisan	355,7	11,47
Mayıs	598,8	19,96
Haziran	883,1	28,49
Temmuz	1423,3	45,90
Ağustos	1943,8	64,79
Eylül	1062,8	34,28
Ekim	805	26,83
Kasım	342,1	11,04
Aralık	225	7,26
Ortalama	677,3	22,2

Modül başı elektrik üretimi ortalama 1,19 kWh/gün olduğuna göre, 22,2 kWh/gün değerindeki ihtiyacın karşılanması için en az 19 adet güneş modülüne ihtiyaç olduğunu söyleyebiliriz. Yazılım tarafından yapılan hesaplamalara ait ekran görüntüsü Şekil 5.15’te görüldüğü gibidir.

Tek Modülün Ort. Elektrik Üretimi : 1.19 (kw/gün)

Günlük Ort. Elektrik Tüketimi: 22.27 (kw/gün)

Gerekli Modül Sayısı : 19

Şekil 5.15. Modül sayısının yazılım tarafından hesaplanması

Bu sistem için monte edilecek modül sayısını 19 olarak belirledikten sonra, bu değerden yola çıkarak her ay için günlük üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları, ilgili aydaki günlük ortalama elektrik tüketim miktarları ile karşılaştırılarak şebekeden alınacak ve şebekeye satılacak elektrik enerjisi hesaplanır. Üretilen fazla enerji şebekeye satılacağı ve yetersiz kalan enerji de şebekeden alınacağı için aylık üretim değeri ile aylık tüketim değeri arasındaki fark, şebekeye satılan ve şebekeden alınan elektrik enerjisi arasındaki farka eşit olmalıdır. Çizelge 5.16’da 19 modülden oluşan sistem önerisi analizi listelenmiştir.

Çizelge 5.16. Belirlenen modül sayısına göre analiz sonucu

Ay	Toplam Üretim (kWh)	Toplam Tüketim (kWh)	Şebekeye Satılan (kWh)	Şebekeden Alınan (kWh)	Yeterli Gün
Ocak	350,15	141,50	212,33	3,54	28
Şubat	464,12	162,30	303,39	1,67	27
Mart	624,99	185,00	439,92	0,00	31
Nisan	793,18	355,70	458,51	21,13	27
Mayıs	1000,00	598,80	402,18	1,09	29
Haziran	1049,34	883,10	170,52	4,39	28
Temmuz	1046,36	1423,30	0,00	376,85	0
Ağustos	946,20	1943,80	0,00	997,50	0
Eylül	797,62	1062,80	0,00	265,28	0
Ekim	523,78	805,00	0,00	281,29	0
Kasım	362,73	342,10	59,38	38,66	16
Aralık	283,18	225,00	90,57	32,45	22
Toplam	8241,64	8128,40	2136,80	2023,85	208

Yukarıdaki çizelge incelendiğinde tüketimin az olduğu kış ve ilkbahar aylarında, kurulu sistem elektrik enerjisi ihtiyacını %90 oranında karşılamaktadır. Ancak tüketimin yoğun olduğu aylarda (Temmuz-Ekim arası) ise ihtiyaca cevap verememektedir. Bu aylarda ihtiyaç tamamen şebekeden karşılanacaktır. Seçilen modül kapasitesiyle ilgili maliyetler, yıllık kazançlar ve geri dönüş süresi incelenerek bir karar verilebilir ancak kullanımın yoğun olduğu aylarda ihtiyaca hiç cevap veremeyen bir sistemin çok fazla tercih edilmeyeceği açıktır.

Mevcut öneriyle ilgili bir yatırım analizi gerçekleştirmek için, yine hazırlanan yazılımdan faydalanılır. Benzetim yapıldıktan sonra, elde edilen bir yıllık tahmini ısıtım değerlerinden tek modül için tahmini elektrik enerjisi üretim değerleri tespit edilir. Ardından her sistem önerisi için gerekli modül sayısı hesaplandıktan sonra toplam elektrik üretim ve tüketim değerleri ile şebekeye satış ve şebekeden alış değerlerinden yola çıkılarak yatırım analizi gerçekleştirilir. İlgili analize ait ekran görüntüsü Şekil 5.16’da olduğu gibidir.

Modül Sayısına Göre Analiz (Yıl Bazında)

Yapılan Seçim		Maliyetler	
Gösterilen Öneri :	Öneri 1	Modül Maliyeti :	26600 (tl)
Seçilen Modül Sayısı :	19	İnvertör Maliyeti :	9000 (tl)
Toplam Kurulu Güç :	4.465 (kWp)	Akü/Şarj Reg. Maliyeti :	
İnvertör Çıkış Gücü :	5 (kW)	Kurulum Maliyeti :	3955.56 (tl)
		Vergi Maliyeti :	7120 (tl)
		Toplam Maliyet :	46675.56 (tl)
Üretim ve Tüketim Bilgileri		Şebekeyle Alışveriş	
Yıllık Toplam Üretim :	8241.64 (kWh/yıl)	Şebekeden Alınan :	2023.85 (kWh/yıl)
Yıllık Toplam Tüketim :	8128.4 (kWh/yıl)	Şebekeye Satılan :	2136.8 (kWh/yıl)
Tüketimin Karşılanması :	208 (gün)		

Şekil 5.16. İlk sistem önerisi için elde edilen sonuçlar

Şekil 5.16'daki sonuçlar incelendiğinde 19 adet güneş modülünden oluşan sistemin toplam kurulu gücünün 4,465 kWp olacağı, bu gücü karşılamak için çıkış gücü en az 5 kW olan bir invertöre ihtiyaç duyulacağı görülmektedir. Elde edilen üretim ve tüketim değerleri ile şebekeye satılacak ve şebekeden alınacak elektrik enerjisi değerlerinin ise Çizelge 5.16'da yer alan ve elle hesaplanmış değerlerle aynı olduğu gözükmemektedir.

Maliyetler hesaplanırken, birim fiyatı 1400 TL olan 19 adet güneş modülünün toplam maliyeti 26.600 TL, invertör maliyeti ise 1,8 TL/W bilgisinden yola çıkarak 5 kW için 9000 TL olmaktadır. Kurulum ve vergi maliyetleri eklendikten sonra toplam maliyet yaklaşık 46.675 TL olarak tespit edilir. Buradan da 30 haneden oluşan yazlık site için hane başı toplam maliyetin yaklaşık 1550 TL olacağı söylenebilir. Elde edilen yıllık üretim ve şebekeye satış verilerinden yola çıkılarak elde edilen yıllık toplam kazanç değeri Şekil 5.17'de görüldüğü gibidir.

Yatırım Analizi	
Üretim Kazancı	: 1648.23 (tl/yıl)
Satış Kazancı	: 576.94 (tl/yıl)
Toplam Kazanç	: 2225.17 (tl/yıl)
Yatırımın Geri Dönüşü	: 21 (yıl)

Şekil 5.17. İlk sistem önerisi için yatırım analizi

Buna göre 19 adet modülden oluşan sistemin bize yıllık getirisi yaklaşık olarak 2225 TL'dir. Bunun 1648 TL'lik kısmı sistemin ürettiği yani şebekeden satın almadığımız elektrik için sağlayacağımız kazancı oluştururken, 576 TL'lik kısmı da şebekeye elektrik enerjisi satarak elde edeceğimiz kazancı oluşturmaktadır. Toplam yatırım maliyeti 46.675 TL olduğuna göre yatırımın geri dönüş süresi de 21 yıl olarak elde edilir.

Günlük ortalama elektrik tüketim değeri baz alınarak oluşturulan ve 19 adet modülden oluşan bu sistem önerisinin yıllık toplam üretimi, yıllık toplam tüketime denk gelmektedir. Yine şebekeye satılan ve şebekeden alınan elektrik

enerjileri miktarları da birbirine yakındır. Ancak sistemin yaz aylarındaki ihtiyacı karşılamaması bu önerinin en zayıf noktası olarak karşımıza çıkmaktadır.

İlgili sistem önerisi için şebeke elektriğinden elektrik satın alınabildiği ancak şebekeye elektrik satılamadığı durum için bir ekonomik analiz gerçekleştirildiğinde ise Şekil 5.18’de yer alan sonuçlar elde edilmektedir.

Maliyetler		Yatırım Analizi	
Modül Maliyeti	: 26600 (tl)	Üretim Kazancı	: 1648.23 (tl/yıl)
İnvertör Maliyeti	: 9000 (tl)	Satış Kazancı	: 0 (tl/yıl)
Akü/Şarj Reg. Maliyeti	:	Toplam Kazanç	: 1648.23 (tl/yıl)
Kurulum Maliyeti	: 3955.56 (tl)	Yatırımın Geri Dönüşü	: 28 (yıl)
Vergi Maliyeti	: 7120 (tl)		
Toplam Maliyet	: 46675.56 (tl)		

Şebekeyle Alışveriş	
Şebekeden Alınan	: 2023.85 (kWh/yıl)
Şebekeye Satılan	: 0 (kWh/yıl)

Şekil 5.18. Şebekeye satış gerçekleşmediği durum için yatırım analizi

Şebeke bağlantısının olmadığı durum göz önüne alındığında ise akü ve şarj regülatörü sisteme dahil olmaktadır. Bu donanımlara ait maliyetler hesaplanarak ekonomik analiz gerçekleştirildiğinde Şekil 5.19’da yer alan sonuçlar elde edilir.

Maliyetler		Yatırım Analizi	
Modül Maliyeti	: 26600 (tl)	Üretim Kazancı	: 2194.67 (tl/yıl)
İnvertör Maliyeti	: 9000 (tl)	Satış Kazancı	: 0 (tl/yıl)
Akü/Şarj Reg. Maliyeti	: 13279 (tl)	Toplam Kazanç	: 2194.67 (tl/yıl)
Kurulum Maliyeti	: 3955.56 (tl)	Yatırımın Geri Dönüşü	: 27 (yıl)
Vergi Maliyeti	: 7120 (tl)		
Toplam Maliyet	: 59954.56 (tl)		

Şebekeyle Alışveriş	
Şebekeden Alınan	: 0 (kWh/yıl)
Şebekeye Satılan	: 0 (kWh/yıl)

Şekil 5.19. Şebeke bağlantısı yerine akü kullanılan durum için yatırım analizi

5.5.2. Tüketim/üretim oranının en büyük olduğu aya göre

Bu sistem önerisinde, bir anlamda en kötü senaryo düşünülmüş ve güneş modülü ihtiyacının en fazla olacağı durum göz önüne alınmıştır. Bu öneri oluşturulurken aylık elektrik tüketim değerleri, benzetim sonucu elde edilen ilgili aydaki modül başı üretim değerleriyle karşılaştırılarak Çizelge 5.17’de yer alan tablo hazırlanır ve öncelikle modül ihtiyacının en fazla olduğu ay tespit edilir.

Çizelge 5.17. Aylık elektrik tüketim ve tahmini üretim değerlerinin karşılaştırılması

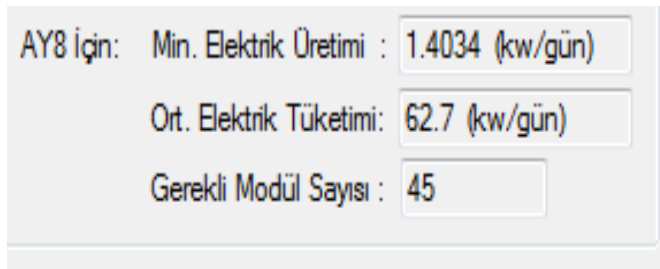
Ay	Tüketim (kWh)	Tahmini Üretim (kWh/modül)	Oran
Ocak	141,50	18,43	7,68
Şubat	162,30	24,43	6,64
Mart	185,00	32,89	5,62
Nisan	355,70	41,75	8,52
Mayıs	598,80	52,63	11,38
Haziran	883,10	55,23	15,99
Temmuz	1423,30	55,07	25,85
Ağustos	1943,80	49,80	39,03
Eylül	1062,80	41,98	25,32
Ekim	805,00	27,57	29,20
Kasım	342,10	19,09	17,92
Aralık	225,00	14,9	15,10

Çizelge 5.17 incelendiğinde Ağustos ayı darboğazın yaşanacağı ay olarak karşımıza çıkmaktayken ihtiyacın karşılanması için 39 adet güneş modülüne gereksinim olduğu çıkarımı yapılabilir. Ancak bu çıkarım Ağustos ayındaki ortalama tüketim ve üretim değerlerine göre yapılacağı için ilgili ay içerisinde modül başı elektrik üretiminin ortalama üretimden daha düşük olacağı günler göz ardı edilmiş olacaktır. Bu da darboğazın tamamen bertaraf edilememesine yol açar. Buradan yola çıkarak darboğazın doğru anlamda ele alınabilmesi için, Çizelge 5.18’de yer aldığı üzere Ağustos ayı içerisindeki modül başı en düşük elektrik enerjisi üretim değeri saptanır ve modül sayısı o günkü ihtiyaca göre belirlenir.

Çizelge 5.18. Ağustos ayı modül başı elektrik üretim değerleri

Gün	Elektrik Üretimi (kWh/modül)	Gün	Elektrik Üretimi (kWh/modül)	Gün	Elektrik Üretimi (kWh/modül)
1	1,57	12	1,59	23	1,67
2	1,71	13	1,84	24	1,54
3	1,62	14	1,40	25	1,58
4	1,56	15	1,52	26	1,69
5	1,65	16	1,45	27	1,44
6	1,57	17	1,68	28	1,77
7	1,66	18	1,51	29	1,63
8	1,58	19	1,76	30	1,75
9	1,45	20	1,68	31	1,59
10	1,60	21	1,58		
11	1,49	22	1,67		

Çizelge 5.18’de görüldüğü üzere Ağustos ayında gerçekleşmesi tahmin edilen modül başı minimum elektrik enerjisi üretimi değeri 1,40 kWh olarak bulunmuştur. Ağustos ayı elektrik tüketimi 1943,8 kWh olduğunda göre Ağustos ayı için günlük ortalama elektrik tüketimi 62,7 kWh olarak bulunur. Tespit edilen gün ele alındığında Şekil 5.20’de görüldüğü üzere 62,7 kWh değerindeki elektrik tüketimini karşılamak için en az 45 adet güneş modülüne ihtiyaç duyulacaktır.



AY8 için: Min. Elektrik Üretimi : 1.4034 (kw/gün)
Ort. Elektrik Tüketimi: 62.7 (kw/gün)
Gerekli Modül Sayısı : 45

Şekil 5.20. Modül sayısının yazılım tarafından tespit edilmesi

Kurulumu yapılacak güneş modülü sayısı tespit edildikten sonra toplam üretim, şebekeye satış ve şebekeden alış gibi analiz sonuçları bir önceki öneride olduğu gibi tekrardan hesaplanır. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.19’da listelenmiştir.

Çizelge 5.19. Belirlenen modül sayısına göre analiz sonucu

Ay	Toplam Üretim (kWh)	Toplam Tüketim (kWh)	Şebekeye Satılan (kWh)	Şebekeden Alınan (kWh)	Yeterli Gün
Ocak	829,30	141,50	687,94	0,00	31
Şubat	1099,22	162,30	936,82	0,00	28
Mart	1480,23	185,00	1295,16	0,00	31
Nisan	1878,58	355,70	1529,62	6,85	28
Mayıs	2368,43	598,80	1769,51	0,00	31
Haziran	2485,27	883,10	1602,07	0,00	30
Temmuz	2478,21	1423,30	1055,00	0,00	31
Ağustos	2241,00	1943,80	297,30	0,00	31
Eylül	1889,10	1062,80	826,20	0,00	30
Ekim	1240,54	805,00	435,47	0,00	31
Kasım	859,10	342,10	517,10	0,00	30
Aralık	670,69	225,00	453,05	7,41	28
Toplam	19519,67	8128,40	11405,24	14,26	360

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 45 adet güneş modülünün yılın 360 günü elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacağı söylenebilir. Elektrik üretim ve tüketim değerlerini karşılaştırılarak Şekil 5.21’de yer alan yatırım analizi sonuç tablosu elde edilir.

Modül Sayısına Göre Analiz (Yıl Bazında)

Yapılan Seçim

Gösterilen Öneri : **Öneri 2**

Seçilen Modül Sayısı : **45**

Toplam Kurulu Güç : **10.575 (kWp)**

İnvertör Çıkış Gücü : **12 (kW)**

Üretim ve Tüketim Bilgileri

Yıllık Toplam Üretim : **19519.67 (kWh/yıl)**

Yıllık Toplam Tüketim : **8128.4 (kWh/yıl)**

Tüketimin Karşılanması : **360 (gün)**

Maliyetler

Modül Maliyeti : **63000 (₺)**

İnvertör Maliyeti : **21600 (₺)**

Akü/Şarj Reg. Maliyeti :

Kurulum Maliyeti : **9400 (₺)**

Vergi Maliyeti : **16920 (₺)**

Toplam Maliyet : **110920 (₺)**

Şebekeyle Alışveriş

Şebekeden Alınan : **14.26 (kWh/yıl)**

Şebekeye Satılan : **11405.24 (kWh/yıl)**

Şekil 5.21. İkinci sistem önerisi için elde edilen sonuçlar

Şekil 5.21'deki sonuçlar incelendiğinde 45 adet güneş modülünden oluşan sistemin toplam kurulu gücünün 10,575 kWp olacağı, bu gücü karşılamak için çıkış gücü en az 12 kW olan bir invertöre ihtiyaç duyulacağı tespit edilmiştir. Elde edilen üretim ve tüketim değerleri ile şebekeye satılacak ve şebekeden alınacak elektrik enerjisi değerlerinin ise Çizelge 5.19'da yer alan ve elle hesaplanmış değerlerle aynı olduğu gözükmemektedir.

Maliyetler hesaplanırken, birim fiyatı 1400 TL olan 45 adet güneş modülünün toplam maliyeti 63.000 TL, invertör maliyeti ise 1,8 TL/W bilgisinden yola çıkarak 12 kW için 21.600 TL olmaktadır. Kurulum ve vergi maliyetleri eklendikten sonra toplam maliyet yaklaşık 110.920 TL olarak tespit edilir. Buradan da 30 haneden oluşan yazlık site için hane başı toplam maliyetin yaklaşık 3700 TL olacağı söylenebilir. Elde edilen yıllık üretim ve şebekeye satış verilerinden yola çıkarak yıllık toplam kazanç elde edilir. Şekil 5.22'de yazılım tarafından hesaplanan değerler yer almaktadır.

Yatırım Analizi	
Üretim Kazancı	: 2190.82 (tl./yıl)
Satış Kazancı	: 3079.41 (tl./yıl)
Toplam Kazanç	: 5270.23 (tl./yıl)
Yatırımın Geri Dönüşü	: 21 (yıl)

Şekil 5.22. İkinci sistem önerisi için yatırım analizi

Buna göre 45 adet modülünden oluşan sistemin sağladığı yıllık kazanç yaklaşık olarak 5270 TL'dir. Bunun 2190 TL'lik kısmı sistemin ürettiği yani şebekeden satın almadığımız elektrik için sağlayacağımız kazancı oluştururken, 3079 TL'lik kısmı da şebekeye elektrik enerjisi satarak elde edeceğimiz kazancı oluşturmaktadır. Toplam yatırım maliyeti 110.920 TL olduğuna göre yatırımın geri dönüş süresi yine 21 yıl olarak elde edilir.

Günlük ortalama elektrik tüketim değeri baz alınarak oluşturulan ve 45 adet modülünden oluşan bu sistemin yılın 360 günü elektrik ihtiyacını karşılayabileceği öngörülmektedir. Daire başı maliyetler ilk öneriye göre artmış olsa da, ihtiyacın büyük oranda karşılanacağı düşünüldüğünde yine de kabul edilebilir seviyededir.

İlgili sistem önerisi için şebeke elektriğinden elektrik satın alınabildiği ancak şebekeye elektrik satılamadığı durum için bir ekonomik analiz gerçekleştirildiğinde ise Şekil 5.23'te yer alan sonuçlar elde edilmektedir.

Maliyetler		Yatırım Analizi	
Modül Maliyeti	: 63000 (tl)	Üretim Kazancı	: 2190.82 (tl/yıl)
İnvertör Maliyeti	: 21600 (tl)	Satış Kazancı	: 0 (tl/yıl)
Akü/Şarj Reg. Maliyeti	:	Toplam Kazanç	: 2190.82 (tl/yıl)
Kurulum Maliyeti	: 9400 (tl)	Yatırımın Geri Dönüşü	: 51 (yıl)
Vergi Maliyeti	: 16920 (tl)		
Toplam Maliyet	: 110920 (tl)		

Şebekeyle Alışveriş	
Şebekeden Alınan	: 14.26 (kWh/yıl)
Şebekeye Satılan	: 0 (kWh/yıl)

Şekil 5.23. Şebekeye satış gerçekleşmediği durum için yatırım analizi

Şebeke bağlantısının olmadığı durum göz önüne alındığında ise akü ve şarj regülatörü sisteme dahil olmaktadır . Bu donanımlara ait maliyetler hesaplanarak ekonomik analiz gerçekleştirildiğinde Şekil 5.24'de yer alan sonuçlar elde edilir.

Maliyetler		Yatırım Analizi	
Modül Maliyeti	: 63000 (tl)	Üretim Kazancı	: 2194.67 (tl/yıl)
İnvertör Maliyeti	: 21600 (tl)	Satış Kazancı	: 0 (tl/yıl)
Akü/Şarj Reg. Maliyeti	: 36932.5 (tl)	Toplam Kazanç	: 2194.67 (tl/yıl)
Kurulum Maliyeti	: 9400 (tl)	Yatırımın Geri Dönüşü	: 67 (yıl)
Vergi Maliyeti	: 16920 (tl)		
Toplam Maliyet	: 147852.5 (tl)		

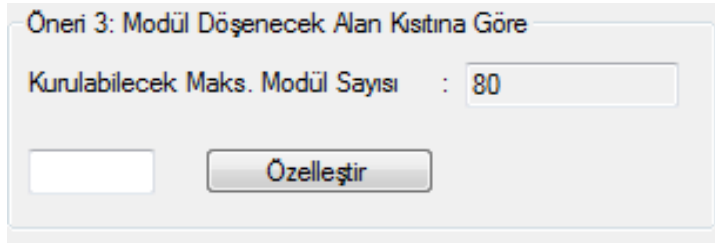
Şebekeyle Alışveriş	
Şebekeden Alınan	: 0 (kWh/yıl)
Şebekeye Satılan	: 0 (kWh/yıl)

Şekil 5.24. Şebeke bağlantısı yerine akü kullanılan durum için yatırım analizi

5.5.3. Kurulum alanı kısıtına göre

Bu sistem önerisinde önceden belirlenmiş kurulum alanının eni ve boyu baz alınarak ilgili alana en fazla kaç adet güneş modülü dōşenebileceđi saptanır. Bu diğer önerilere göre daha ticari bir yaklaşımdır. Site sakinlerinin daha fazla yatırım yapabilme imkanı varsa şebekeye satılacak elektrik enerjisinin sağlayacağı kazanç uzun vadede sitenin aylık aidatlarında düşüşe sebep olabilir ya da farklı şekilde değerlendirilebilir.

Seçilen Kyocera KD 235GX-LPB marka güneş modülünün uzunluğu 166 cm genişliği ise 99 cm kadardır. Site içerisinde kurulumun yapılacağı otopark alanının üstünü kaplayan çelik gövdenin uzunluğu yaklaşık 350 cm, genişliği ise 4000 cm kadardır. Uzunluk esas alındığında $350/166=2,1$ sonucundan yola çıkarak arkalı önlü iki modül yerleştirilebileceğini söyleyebiliriz. Genişlik esas alındığında ise $4000/99=40,4$ sonucundan yola çıkarak yan yana 40 adet olmak üzere toplamda 80 adet güneş modülünün ilgili alana monte edilip seri olarak bağlanabileceği sonucuna varılmaktadır. Yazılım tarafından da aynı sonuç elde edilmiş olup bu sonuç Şekil 5.25’de sunulmuştur.



Şekil 5.25. Modül sayısının yazılım tarafından tespit edilmesi

Yazılım ekranında sunulan özelleştir seçeneği ile kurulumu yapılacak modül sayısı kullanıcı tarafından 80’den daha az olmak kaydıyla istenilen şekilde belirlenebilir. Böylece farklı modül sayıları için elde edilecek farklı sonuçlar birbiriyle karşılaştırılabilir.

Kurulumu yapılacak güneş modülü sayısı tespit edildikten sonra toplam üretim, şebekeye satış ve şebekeden alış gibi analiz sonuçları bir önceki önerilerde olduğu gibi tekrardan hesaplanır. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.20’de listelenmiştir.

Çizelge 5.20. Belirlenen modül sayısına göre analiz sonucu

Ay	Toplam Üretim (kWh)	Toplam Tüketim (kWh)	Şebekeye Satılan (kWh)	Şebekeden Alınan (kWh)	Yeterli Gün
Ocak	1474,31	141,50	1332,95	0,00	31
Şubat	1954,18	162,30	1791,78	0,00	28
Mart	2631,52	185,00	2446,45	0,00	31
Nisan	3339,70	355,70	2983,90	0,00	30
Mayıs	4210,54	598,80	3611,62	0,00	31
Haziran	4418,26	883,10	3535,06	0,00	30
Temmuz	4405,71	1423,30	2982,50	0,00	31
Ağustos	3983,99	1943,80	2040,29	0,00	31
Eylül	3358,41	1062,80	2295,51	0,00	30
Ekim	2205,41	805,00	1400,34	0,00	31
Kasım	1527,28	342,10	1185,28	0,00	30
Aralık	1192,34	225,00	967,28	0,00	31
Toplam	34701,64	8128,4	26572,95	0	365

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 80 adet güneş modülünün yılın 365 günü elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacağını söyleyebiliriz. Elektrik üretim ve tüketim değerlerini karşılaştırılarak Şekil 5.26’da yer alan yatırım analizi sonuç tablosu elde edilir.

Modül Sayısına Göre Analiz (Yıl Bazında)

Yapılan Seçim

Gösterilen Öneri : **Öneri 3**

Seçilen Modül Sayısı : **80**

Toplam Kurulu Güç : 18.8 (kWp)

İnvertör Çıkış Gücü : 21 (kW)

Üretim ve Tüketim Bilgileri

Yıllık Toplam Üretim : 34701.64 (kWh/yıl)

Yıllık Toplam Tüketim : 8128.4 (kWh/yıl)

Tüketimin Karşılanması : 365 (gün)

Maliyetler

Modül Maliyeti : 112000 (tl)

İnvertör Maliyeti : 37800 (tl)

Akü/Şarj Reg. Maliyeti :

Kurulum Maliyeti : 16644.44 (tl)

Vergi Maliyeti : 29960 (tl)

Toplam Maliyet : 196404.44 (tl)

Şebekeyle Alışveriş

Şebekeden Alınan : 0 (kWh/yıl)

Şebekeye Satılan : 26572.95 (kWh/yıl)

Şekil 5.26. Üçüncü sistem önerisi için elde edilen sonuçlar

Şekil 5.26'daki sonuçlar incelendiğinde 80 adet güneş modülünden oluşan sistemin toplam kurulu gücünün 18,8 kWp olacağı, bu gücü karşılamak için çıkış gücü en az 21 kW olan bir invertöre ihtiyaç duyulacağı tespit edilmiştir. Elde edilen üretim ve tüketim değerleri ile şebekeye satılacak ve şebekeden alınacak elektrik enerjisi değerlerinin ise Çizelge 5.20'de yer alan ve elle hesaplanmış değerlerle aynı olduğu gözükmemektedir.

Maliyetler hesaplanırken, birim fiyatı 1400 TL olan 80 adet güneş modülünün toplam maliyeti 112.000 TL, invertör maliyeti ise 1,8 TL/W bilgisinden yola çıkarak 21 kW için 37.800 TL olmaktadır. Kurulum ve vergi maliyetleri eklendikten sonra toplam maliyet yaklaşık 196.404 TL olarak tespit edilir. Buradan da 30 haneden oluşan yazlık site için hane başı toplam maliyetin yaklaşık 6550 TL olacağı söylenebilir. Elde edilen yıllık üretim ve şebekeye satış verilerinden yola çıkarak yıllık toplam kazanç elde edilir. Şekil 5.27'de yazılım tarafından hesaplanan değerler yer almaktadır.

Yatırım Analizi	
Üretim Kazancı	: 2194.67 (tl./yıl)
Satış Kazancı	: 7174.7 (tl./yıl)
Toplam Kazanç	: 9369.37 (tl./yıl)
Yatırımın Geri Dönüşü	: 21 (yıl)

Şekil 5.27. Üçüncü sistem önerisi için yatırım analizi

Buna göre 80 adet modülden oluşan sistemin bize yıllık getirisi yaklaşık olarak 9369 TL'dir. Bunun 2194 TL'lik kısmı sistemin ürettiği yani şebekeden satın almadığımız elektrik için sağlayacağımız kazancı oluştururken, 7174 TL'lik kısmı da şebekeye elektrik enerjisi satarak elde edeceğimiz kazancı oluşturmaktadır. Toplam yatırım maliyeti 196.404 TL olduğuna göre yatırımın geri dönüş süresi de diğer önerilerde olduğu gibi 21 yıl olarak elde edilir.

Günlük ortalama elektrik tüketim değeri baz alınarak oluşturulan ve 80 adet modülden oluşan bu sistemin yılın 365 günü elektrik ihtiyacını tamamen karşılayabileceği öngörülmektedir. İhtiyacı karşılamanın ötesinde, yatırımcıların ekonomik koşullarına ve beklentilerine göre bu sistem daha çok ticari bir yatırım olarak da değerlendirilebilir.

İlgili sistem önerisi için şebeke elektriğinden elektrik satın alınabildiği ancak şebekeye elektrik satılamadığı durum için bir ekonomik analiz gerçekleştirildiğinde ise Şekil 5.28’de yer alan sonuçlar elde edilmektedir.

Maliyetler		Yatırım Analizi	
Modül Maliyeti	: 112000 (tl)	Üretim Kazancı	: 2194.67 (tl/yıl)
İnvertör Maliyeti	: 37800 (tl)	Satış Kazancı	: 0 (tl/yıl)
Akü/Şarj Reg. Maliyeti	:	Toplam Kazanç	: 2194.67 (tl/yıl)
Kurulum Maliyeti	: 16644.44 (tl)	Yatırımın Geri Dönüşü	: 89 (yıl)
Vergi Maliyeti	: 29960 (tl)		
Toplam Maliyet	: 196404.44 (tl)		

Şebekeyle Alışveriş	
Şebekeden Alınan	: 0 (kWh/yıl)
Şebekeye Satılan	: 0 (kWh/yıl)

Yazar Can Ortaçtepe / Anadolu Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi

İletişim: yasarcano@yahoo.com

Şekil 5.28. Şebekeye satış gerçekleşmediği durum için yatırım analizi

Şebeke bağlantısının olmadığı durum göz önüne alındığında ise akü ve şarj regülatörü sisteme dahil olmaktadır . Bu donanımlara ait maliyetler hesaplanarak ekonomik analiz gerçekleştirildiğinde Şekil 5.29’da yer alan sonuçlar elde edilir.

Maliyetler		Yatırım Analizi	
Modül Maliyeti	: 112000 (tl)	Üretim Kazancı	: 2194.67 (tl/yıl)
İnvertör Maliyeti	: 37800 (tl)	Satış Kazancı	: 0 (tl/yıl)
Akü/Şarj Reg. Maliyeti	: 39242.5 (tl)	Toplam Kazanç	: 2194.67 (tl/yıl)
Kurulum Maliyeti	: 16644.44 (tl)	Yatırımın Geri Dönüşü	: 107 (yıl)
Vergi Maliyeti	: 29960 (tl)		
Toplam Maliyet	: 235646.94 (tl)		

Şebekeyle Alışveriş	
Şebekeden Alınan	: 0 (kWh/yıl)
Şebekeye Satılan	: 0 (kWh/yıl)

Şekil 5.29. Şebeke bağlantısı yerine akü kullanılan durum için yatırım analizi

5.5.4. Sistem Önerilerinin Karşılaştırılması

İlk sistem önerisinde günlük ortalama elektrik tüketim değeri baz alınırken, ikinci öneride tüketimin üretime oranının en büyük olduğu aydaki üretim değerleri baz alınmıştır. Üçüncü yöntemde ise kurulum alanı kısıtına göre hareket edilmiş ve dönebilecek maksimum modül sayısı üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.21’de şebekeden alış ve şebekeye satışın gerçekleşebildiği durum için sistem önerileri ve tek modül analizi özetlenmiştir.

Çizelge 5.21. Sistem önerilerinin karşılaştırılması

	Tek Modül	Öneri 1	Öneri 2	Öneri 3
Modül Sayısı (Adet)	1	19	45	80
Kurulu Güç (kWp)	0,235	4,465	10,575	18,8
Toplam Üretim (kWh/yıl)	433,77	8241,64	19519,67	34701,64
Toplam Tüketim (kWh/yıl)	8128,4	8128,4	8128,4	8128,4
Toplam Maliyet (TL)	4195,56	46675,56	110920	196404,44
Toplam Kazanç (TL/yıl)	117,04	2225,17	5270,23	9369,67
Geri Dönüş (yıl)	36	21	21	21
Tüketimin Karşılanması (gün)	0	208	360	365

Çizelge 5.22’de ise şebekeye satışın olmadığı ve şebeke bağlantısının olmadığı durumlar da göz önüne alınarak sistem önerileri özetlenirken güneş pillerinin 20-25 sene civarında ömrü olduğu bilgisi unutulmamalıdır.

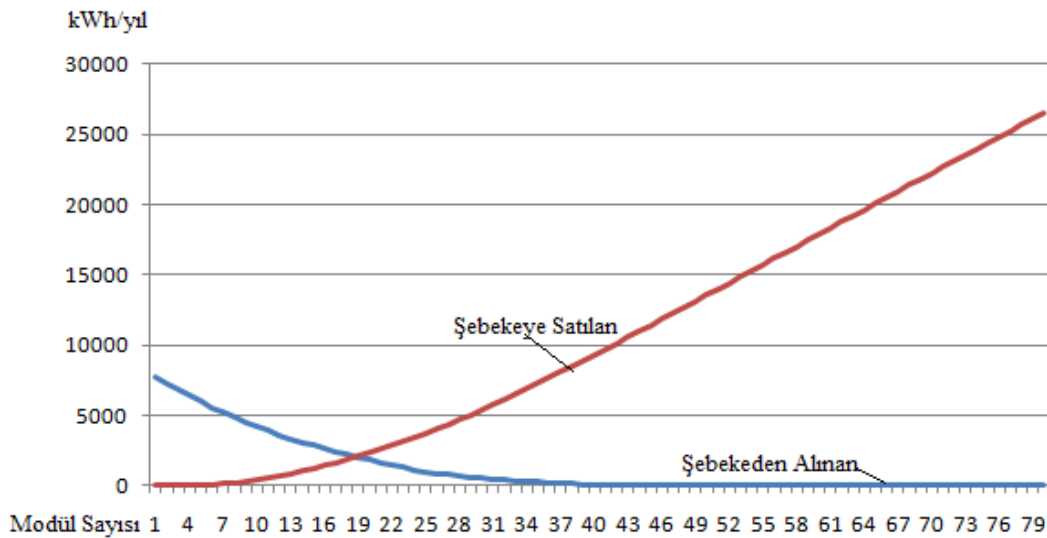
Çizelge 5.22. Farklı şebeke bağlantısı seçenekli sistem önerilerinin karşılaştırılması

Öneri	Şebeke Bağlantısı	Yatırım Maliyeti (TL)	Yıllık Kazanç (TL)	Geri Dönüşü (Yıl)
1	Alış-Satış	46675	2225	21
	Sadece Alış	46675	1648	28
	Yok (Akü)	59954	2194	27
2	Alış-Satış	110920	5270	21
	Sadece Alış	110920	2190	51
	Yok (Akü)	147852	2194	67
3	Alış-Satış	196404	9369	21
	Sadece Alış	196404	2194	89
	Yok (Akü)	235646	2194	107

Çizelge 5.22 incelendiğinde şebeke bağlantılı sistemlerin yatırım maliyetlerinin aynı olduğu ancak şebekeye satış olmadığı durumda sistemin geri dönüş süresinin uzadığı görülmektedir. Buna ek olarak sisteme akü ve şarj regülatörü dahil etmenin, yatırım maliyetini önemli oranda (yaklaşık %30) arttırdığı ve bunun sonucunda yatırımın geri dönüş süresinin, sistemin ömrünü kat kat aşacak şekilde uzadığı görülmektedir.

Bu sonuçlar dahilinde şebeke bağlantılı ve şebekeyle karşılıklı alışverişe imkan veren güneş pili sistem tasarımlarının, gerek yatırım maliyetlerinin düşük olması gerekse de şebekeye elektrik satışının sağlayacağı ek getirilerle birlikte çok daha avantajlı olduğu söylenebilir.

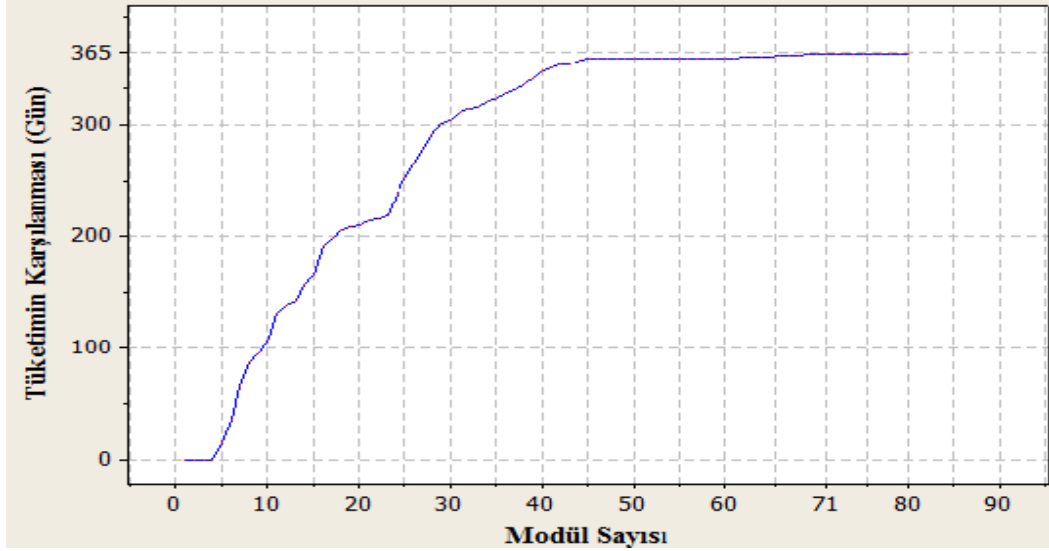
Elde edilen sonuçlar ışığında grafiksel gösterimler kullanılarak başabaş analizi çalışmaları yapılabilmektedir. Yazılım vasıtasıyla her modül sayısı için ayrı ayrı analiz gerçekleştirilebilmektedir. Şebekeden alış ve şebekeye satış miktarlarının modül sayısına göre değişimi grafiği ele alındığında 19 adet modülün başabaş noktasını oluşturduğu Şekil 5.30'da görülmektedir.



Şekil 5.30. Şebekeye olan alışverişin modül sayısına göre değişimi

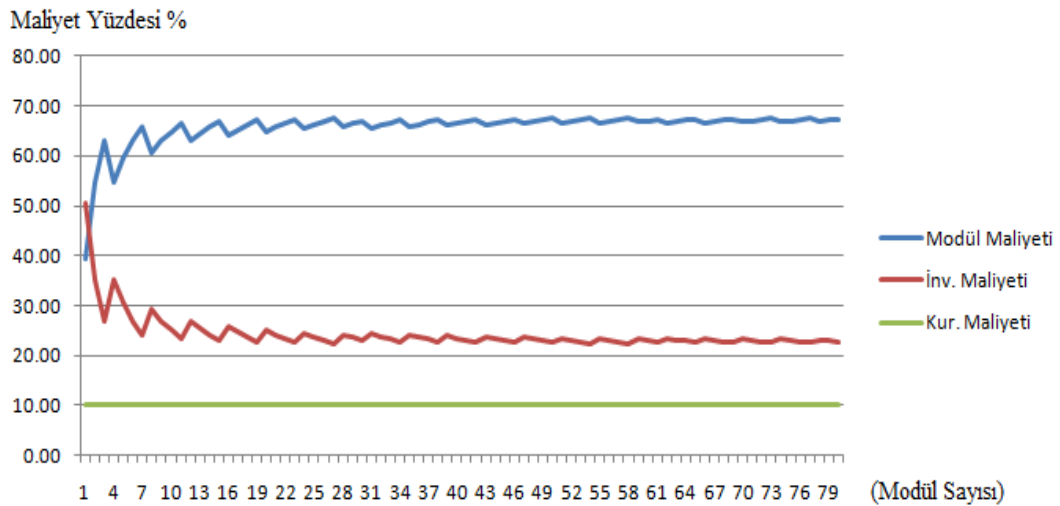
Benzer bir şekilde tüketimin karşılandığı gün sayısının modül sayısına göre değişimi grafiği Şekil 5.31'de yer almakta olup ilgili grafik incelendiğinde, 5. modüle kadar hiçbir günün elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanamadığı, 71. modülden itibaren ise her günün elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanabildiği

görülmektedir. Bu durumda 71 modülün tüketimin tamamen karşılanması açısından başabaş noktası olduğu söylenebilir.



Şekil 5.31. Modül sayısına göre tüketimin karşılandığı gün sayısı

Şekil 5.32’de ise her bir maliyet kaleminin modül sayısına göre değişim grafiği yer almakta olup, analiz öncesi %10 olarak girilen kurulum maliyetinin yine %10 olduğu, modül maliyetinin, %70’e, invertör maliyetinin ise %20’ye yakın seyrettiği gözlenmektedir.



Şekil 5.32. Modül sayısına göre maliyet yüzdeleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ilk olarak güneş enerjisinden elektrik üretmede kullanılan güneş pillerinin yapısı, çalışma prensipleri ve sağladığı faydalar, güneş pili sistemini oluşturan destek elemanları ve kullanım alanına göre oluşturulabilecek farklı sistem tasarımları incelenmiştir. Bunun yanında dünyadaki gelişmeler ve bu teknolojiye öncülük eden ülkeler araştırılmıştır. Türkiye'nin dünya pazarındaki konumu irdelenerek, güneş pili sistemlerinin yaygınlaşmasının öneminden ve atılması gereken adımlardan bahsedilmiştir. Mevcut yasaların yetersiz ve noksan olduğu gerçeğine vurgu yapılırken, TEİAŞ'ın hazırladığı elektrik enerjisi kalkınma planında yenilenebilir enerji klasmanında yalnızca rüzgar enerjisine yer verilmesi güneş enerjisi konusunda bilinçlenmemiz gerektiği gerçeğini gözler önüne sermektedir.

Güneş pili sistemleri ele alındıktan sonra Bozbük/Milas/Muğla'da bulunan 30 konutluk yazlık site için aküden bağımsız şebeke bağlantılı bir güneş pili sistemi kurulum planlaması gerçekleştirilmiştir. Bir yıllık tahmini güneş ışınlamı verileri benzetim yöntemiyle üretilerek modül başına günlük elektrik enerjisi üretim değerleri hesaplanmaya çalışılmıştır. Hazırlanan yazılım ile modül sayısı bazında farklı sistem önerileri türetilmiş bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, günümüz koşullarındaki reel fiyat ve kur değerleriyle birlikte benzer çalışmalardan elde edilen bilgiler yorumlanarak hazırlanmış olup bu bulguların şebekeye bağlı güneş pili sistem tasarımı konusunda yatırımcılar açısından bir yol haritası olması amaçlanmıştır. Yazılım hazırlanırken de tek bir öneri ya da sonuç elde etmek yerine birden fazla öneri hazırlanarak yatırımcıya karar verme sürecinde destek olunması hedeflenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, yenilenebilir enerji yasasının tamamlanmasıyla daha detaylı ve daha somut verilere dayanan bir yatırım analizi çalışması yapılabilir. Güneş pili sistemlerinin kamusal alanlarda kullanımına yönelik bir çalışma yürütülebileceği gibi güneş enerjisiyle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını tek bir sistemde birleştiren hibrid güneş pili sistem tasarımı konusunda bir çalışma gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Çelik A.N. ve Görmez O., “Ankara İli İçin Fotovoltaik-Ev Sistem Tasarımı: Farklı Ölçülendirme Yaklaşımları İle Otonomi-Maliyet Analizi”, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 32-42, 2000.
- [2] Lesourd J.B., “Solar Photovoltaic Systems: The Economics of A Renewable Energy Resource”, Elsevier, Environmental Modelling & Software 16 , 147-156, 2001.
- [3] Alam M.S. ve Saha S.K., Chowdury M.A.K., Saifuzzaman M., Rahman M., “Simulation of Solar Radiation System”, American Journal of Applied Sciences 2 (4), 751-758, 2005.
- [4] Chouder A., Silvestre S. ve Malek A., “Simulation of Photovoltaic Grid Connected Inverter in Case of Grid-Failure”, Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N°4, 285-296, 2006.
- [5] Altaş H. ve Sharaf A.M., “A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment”, International Conference on Clean Electrical Power, ICCEP’0, May 21-23, 341-345, 2007.
- [6] Benatallah A., Mostefaoui R., Boubekri M. ve Boubekri N., “A Simulation Model for Sizing PV Installations”, ScienceDirect, Desalination 209, 97-101, 2007.
- [7] Alafodimos K., Fetfatzis P., Kofinas P., Kallousis M. ve Kikidakis X., “Design Simulation for a 3-Phase Grid Connected PV Inverter in Simulink”, eRA-3, 1-9, 2007.
- [8] Mengi O. ve Altaş H., “Fotovoltaik Güneş Pilleri için Genel Amaçlı bir Matlab/Simulink GUI Modeli”, UMES’07 – Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu, 216-219, 2007.
- [9] Muhida R., Ali M., Kassim P.S.J., Eusuf M.A., Sutjipto A. ve Afzeri , “A Simulation Method to Find the Optimal Design of Photovoltaic Home System in Malaysia, Case Study: A Building Integrated Photovoltaic in Putra Jaya”, World Academy of Science, Engineering and Technology 53, 694-698, 2009.
- [10] Hernanz R., Martín C., Belver Z., Pérez P., Gogeaescoechea M. ve Sáiz S., “Dynamic Simulation of a Photovoltaic Installation”, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’09), 292-298, 2009.

- [11] Hamad A. ve Alsaad M., “A Software Application for Energy Flow Simulation of a Grid Connected Photovoltaic System, Elsevier, Energy Conversion and Management”, 1-6, 2009.
- [12] Qoaidar L. ve Steinbrecht D., “Photovoltaic Systems: A Cost Competitive Option to Supply Energy to Off-Grid Agricultural Communities in Arid Regions”, ScienceDirect, Applied Energy 87, 427–435, 2010.
- [13] Patel A.R., Patel A.A., Patel M.A. ve Vyas D.R., “Modeling and Simulation of Photovoltaic Based Led Lighting System”, World Academy of Science, Engineering and Technology 73, 647-651, 2011.
- [14] Gençoğlu M.T. ve Cebeci M., “Türkiyenin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi”, Kaynak Elektrik 138, 110-115, 2000.
- [15] Meyers R.A., *Handbook of Energy Technology and Economics*, Wiley, New York, 1983.
- [16] Saunders D. ve Keenan D., *Photovoltaic Solar Energy Futures*, Minnesota Futurists Presentation, Minnesota, 2009.
- [17] Çetinkaya H.B., *Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2001.
- [18] Delorme D., *Lesson and Lab Activity with Photovoltaic Cells*, CCMR Educational Programs, New York, 2004.
- [19] Özil E. ve Uyar T.S., “Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler”, Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Türkiye'deki Uygulamaları Konferansı, 85-103, 1999.
- [20] EPIA, *Solar Generation 6: Photovoltaic Electricity Empowering The World*, 2011.
<http://www.epia.org/publications/epia-publications/solar-generation-6.html>
- [21] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, *Güneş Pilleri*, 2010.
<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>
- [22] National Renewable Energy Laboratory (NREL), *Photovoltaics: Basic Design Principles and Components*, DOE/GO-10097-377, FS 231, 1997.
- [23] Küpeli A.Ö., *Güneş Pilleri ve Verimleri*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2005.
- [24] Sayar H., *Alternatif Enerjilerle Elektrik Üretimi*, Avrasya Dosyası, Enerji Özel, Cilt: 9, Sayı: 1, 259-270, 2003.
- [25] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, *Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması*, 2010.
<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/pvilke.html>

- [26] Conergy, *Solar Ev Kitleri*, Offgrid-SF-TUR-0710, İstanbul, 2007.
- [27] Texas State Energy Conservation Office, *Estimating PV System Size And Cost*, SECO Fact Sheet, 24, Texas, 2010.
- [28] Norm Enerji, *Elektrikli Cihazların Haftalık Ortalama Sarfiyatları*, 2011.
<http://www.normenerji.com.tr>
- [29] Anonim, *Off Grid Solar System*, 2011.
http://imajenterprise.com/off_grid.html
- [30] Queensland Government Environmental Protection Agency, *Grid-Connected Photovoltaic Systems*, S I-SE-003, Queensland, 2002.
- [31] Anonim, *Residential Grid Connected PV System*, 2011.
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE_small_solar_electric_systems_how_they_work.html
- [32] Akademi Mühendislik, *Şebekeye Paralel Güneş Enerjisi Sistemi*, 2011.
<http://www.akademimuhendislik.net/sebeke-paralel-gunes-enerjisi-sistemi.html>
- [33] Anonim, *Wind Power*, 2011.
http://synergyholdings.net/esolutions/Wind_Power.htm
- [34] Johnson G., *Plugging Into The Sun*, National Geographic, September, 2009.
- [35] Alaçakır F. B., *Güneş Pili Sistemlerinin Ekonomik Durumu*, EİEİ Genel Müdürlüğü, 280-281, 2011.
- [36] Aksu C., *Güney Ege Bölgesi (Aydın-Denizli-Muğla) Yenilenebilir Enerji Çalışma Raporu*, Güney Ege Kalkınma Ajansı, 2011.
- [37] Renewable Energy Policy Network, *Renewables 2010 Global Status Report*, Paris, 2010.
- [38] Karamanav M., *Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2007 .
- [39] Enis Mühendislik, *Güneş Enerjisindeki Yasal Düzenlemeler*, 2011.
<http://enis.com.tr/Haberler/Gunes-Enerjisindeki-Yasal-Duzenlemeler.html>
- [40] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2011.
<http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn=215&hn=12&nm=384&id=384>
- [41] 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, 2010.
<http://cevre hukuku.net/index.php/kanun/405-yenilenebilir-enerji-kanun>

- [42] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, *Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Planlama Çalışması 2005-2020*, Ankara, 2004.
- [43] Dükkancılar Ş., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Elektrik Depolamak”, Solar Future 2010 Bildiriler Kitabı, 168-172, 2010.
- [44] Karaca İ.H., “Verimi Arttırılmış Fotovoltaik Paneller: Hibrid Panel (Pv/T) Teknolojisi ile Elektrik ve Isı Enerjisi Üretimi”, Solar Future 2010 Bildiriler Kitabı, İstanbul, 108-111, 2010.
- [45] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, *Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası*, 2010.
<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [46] Karınca K.B. ve Gönüllü M.T., “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma”, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, 270-275, 2006.
- [47] GÜNAM, *Güneş Enerjisi Ar-Ge Çalışmaları*, 2011.
<http://gunam.metu.edu.tr/research.html>
- [48] Eke R., Özden Ş., Şentürk A. ve Oktik Ş., *Photovoltaic Applications at Muğla University*, MUTEK R&D, Solar TR-1, Muğla, 2010.
- [49] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, *Muğla İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası*, 2010.
<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/48.aspx>
- [50] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, *İl ve İlçelerimize Ait İstatistik Veriler*, 2011.
<http://www.dmi.gov.tr/>
- [51] Bulut H., *Generation of Representative Solar Radiation Data for Aegean Region of Turkey*, International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(7), 1124-1131, 2010.
- [52] Alte Store, Kyocera KD 235GX-LPB Tanıtım Sayfası, 2011.
<http://www.altestore.com/store/Solar-Panels/Kyocera-KD235GX-LPB-235W-20V-Solar-Panel/p8298/>
- [53] Solar Electric Inc., *Güneş Pili Sistem Elemanları Satış Sayfası*, 2011.
<http://www.solarelectricinc.com>
- [54] Köroğlu T., Teke A., Bayındır Ç.K. ve Tümay M., “Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı, Elektrik Mühendisliği”, 439.Sayı, 98-104, 2010.