İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ★ENERJİ ENSTİTÜSÜ

BİNAYA EKLEME FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN BİR KONUT BİNASI ÇATISINDA UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur GÜNEŞ

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Mayıs 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ★ENERJİ ENSTİTÜSÜ

BİNAYA EKLEME FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN BİR KONUT BİNASI ÇATISINDA UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur GÜNEŞ

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hatice SÖZER

Mayıs 2019

İTÜ Enerji Enstitüsü'nün 301151037 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Onur GÜNEŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BİNAYA EKLEME FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN BİR KONUT BİNASI ÇATISINDA UYGULAMASI " başlıklı tezini aşağıdaki imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Hatice SÖZER**	……..
	İstanbul Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Z. Fatih ÖZTÜRK**	……..
	İstanbul Teknik Üniversitesi	
	Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ	……..
	Yıldız Teknik Üniversitesi	

Teslim Tarihi : 27 Mayıs 2019

Savunma Tarihi : 14 Haziran 2019

ÖNSÖZ

Öncelikle enerji bilimi konusunda beni eğiten ve kariyerime katkısı olduğunu düşündüğüm İTÜ Enerji Enstitüsü'nde bulunan tüm değerli hocalarıma ve çalışanlarına, tez çalışmalarım süresince desteklerini benden esirgemeyen ve büyük emeği geçen sayın değerli Doç. Dr. Hatice SÖZER'e, tez yazımında yardımcı olan Ece EKMEKÇİ'ye, yoğun çalışmalarım arasında sabır gösterdiği ve bana katlandığı için eşim Begüm GÜNEŞ'e ve Solarian'daki ekip arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim. Değerli aile bireylerime şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2019

Onur GÜNEŞ

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR ix
ÇIZELGE LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xiii
ÖZET xv
SUMMARY xvii
1. GİRİŞ 1
1.1 Fotovoltaik Uygulamalarının Yenilenebilir Enerjideki Yeri 2
1.2 Fotovoltaik Modüllerin Özelliklerine Göre İncelenmesi 4
1.2.1 Yapısal özelliklerine göre gruplandırma 4
1.2.2 Optik özelliklerine göre gruplandırma 6
2. FV TEKNOLOJİLERİNİN BİNALARDAKİ UYGULAMASI (BIPV-BAPV) 9
2.1 Bina Uygulamalarının Diğer Uygulamalara Göre Elektriksel Farkı 12
2.2 Tasarım Kriterleri 13
2.2.1 Saha analizleri 14
2.2.2 Teknoloji analizleri ve ürün seçimi 19
2.2.3 Montaj kriterleri 24
3. MEVCUT STANDARTLAR, YÖNETMELİKLER VE MEVZUATLAR 27
4. MEVCUT UYGULAMALARDAKİ ENGELLER 33
4.1 Yasal ve Düzenleyici Engeller 33
4.2 Finansal ve Tarife Engelleri 33
4.3 Teknik Engeller 34
4.4 Tavsiyeler 34
5. BİNAYA ENTEGRE (BIPV) VE BİNAYA EKLEME (BAPV) UYGULAMALARI 37
5.1 BIPV Uygulama Şekilleri 37
5.2 Binaya Ekleme Fotovoltaik Uygulamaları (BAPV) 44
5.2.1 Çatılarda BAPV kullanımı 45
5.2.2 Cephelerde BAPV kullanımı 47

5.3 Türkiye'de BIPV ve BAPV Uygulamaları 48
5.3.1 Türkiye'deki çatı kurulum öngörüsü 48
5.3.2 Türkiye'deki Örnek Fizibilite Çalışmaları 51
6. BAPV SİSTEMLERİ İÇİN UYGULAMA METODOLOJİSİ 55
6.1 Bina Analizleri 55
6.1.1 İklim veri analizi 55
6.1.2 Konum ve yön seçimi 55
6.1.3 Gölgelenme analizi 56
6.1.4 Tüketim analizi 56
6.2. Standartlar 56
6.3. FV Tasarım analizleri 56
6.3.1 Teknoloji ve ürün seçimi 56
6.3.2 Uygun elektriksel tasarım 56
6.4. Performans Analizleri 57
6.4.1 Üretim analizi 57
6.4.2 Mahsuplaşma analizi 57
6.5. Montaj Uygulamaları 57
7. ÖRNEK BAPV UYGULAMASI 59
7.1 Bina Analizleri 60
7.1.1 İklim veri analizi 60
7.1.2 Konum ve yön seçimi 62
7.1.3 Gölgelenme analizi 63
7.1.4 Tüketim analizi 68
7.2. Standartlar ve Mevzuatlar 70
7.3. FV Tasarım Analizleri 70
7.3.1 Teknoloji ve ürün seçimi 70
7.3.2 Uygun elektriksel tasarım 72
7.4. Performans Analizi 73
7.4.1 Üretim analizi 73
7.4.2 Mahsuplaşma analizi 77
8. SONUÇ VE ÖNERİLER 81
KAYNAKLAR 855
EKLER 899

KISALTMALAR

AC	:Alternatif Akım
BAPV	:Binaya Ekleme Fotovoltaik
BIPV	:Binaya Entegre Fotovoltaik
ÇTFV	:Çatı Tipi Fotovoltaik Sistemler
DC	:Direkt Akım
EDAŞ	:Elektrik Dağıtım Şirketi
EPDK	:Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FF	:Doluluk Oranı
FV	:Fotovoltaik
Isc	:Kısa Devre Akımı
MPP	:Maksimum Güç Noktası
MPPT	:Maksimum Güç Noktası Takipçisi
NOCT	:Nominal Koşullardaki Hücre Sıcaklığı
Pmaks	:Maksimum Güç
STK	:Standart Test Koşulları
TEDAŞ	:Türkiye Elektrik Dağıtım Şirketi
Wp, kWp, MWp	:Watt , Kilowatt, Megawatt
Voc	:Açık Devre Gerilimi
YEGM	:Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ÇIZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Fv modül teknolojilerine ait maksimum verim ve kwp başına gerekli alan 5
Çizelge 2.1 : Uluslararası BEFV kurulum yıllık büyüme öngörüsü (2014-2020)..... 12
Çizelge 2.2 : Bir FV modülün akım sıcaklık katsayısı(alfa), gerilim sıcaklık katsayısı(beta) ve güç sıcaklık katsayısını(gama) gösterir etiketi. 12
Çizelge 3.1: BIPV sisteminde kullanılan güneş panelleri için oluşturulan uluslararası standartlar 27
Çizelge 5.1 : Türkiye BAPV teorik potansiyeli analizi 49
Çizelge 5.2 : Türkiye çtfv uygulama potansiyeli analizi 50
Çizelge 5.3 : Finansal analiz sonuçları 52
Çizelge 6.1 : BAPV/BIPV uygulama metodolojisi 55
Çizelge 7.1 : 3 Veri ssetine göre difüzif ışıma değerleri 61
Çizelge 7.2 : 3 Veri setine göre dikey ışıma değerleri..... 61
Çizelge 7.3 : 3 Veri setine göre sıcaklık değerleri..... 62
Çizelge 7.4 : Batı kısım için üretim analizleri 65
Çizelge 7.5 : Doğu kısım için üretim analizleri..... 67
Çizelge 7.6 : Örnek binanın aylık bazda yıllık elektrik tüketim çizelgesi..... 68
Çizelge 7.7 : Örnek binanın aylık bazda yıllık yakıt tüketim çizelgesi 69
Çizelge 7.8 : Örnek binanın aylık bazda yıllık enerji tüketim çizelgesi 69
Çizelge 7.9 : Aylık üretim verileri..... 74
Çizelge 7.10 : P50, P90 ve P95 üretim değerleri..... 75
Çizelge 7.11 : Gelecek yıllar üretim persantil analizi..... 76
Çizelge 7.12 : Aylık enerji mahsuplaşma analizi 78
Çizelge 7.13 : Finansal analiz için gerekli veriler 78
Çizelge 7.14 : Aylık mahsuplaşma gelir çizelgesi..... 79
Çizelge 7.15 : Yıllık mahsuplaşma..... 79
Çizelge 7.16 : Yıllık mahsuplaşma gelir çizelgesi..... 80
Çizelge 8.1 : Proje bilgilendirme çizelgesi...……...……...……..82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Yenilenebilir enerji kapasite durumu ve öngörüsü 2
Şekil 1.2 : Standart FV modül ile BIPV uygulaması 5
Şekil 1.3 : Esnek FV modül ile BIPV uygulaması 6
Şekil 1.4 : Dye FV modül İle BIPV uygulaması 6
Şekil 1.5 : Transparan FV modül ile BIPV uygulaması 7
Şekil 2.1 : Çatı ve arazi kurulum öngörüsü (2018-2022) 11
Şekil 2.2 : Gölgenin FV dizi performanslarına etkisi 13
Şekil 2.3 : Güneş ışınım bileşenleri 14
Şekil 2.4 : Kuzey enleminde yaz ve kış mevsimlerine göre güneşin izlediği yol 15
Şekil 2.5 : Akım-gerilim karakteristiğinin ışınım oranıyla değişimi 15
Şekil 2.6 : Seri bağlı FV modüllerde düşük gücün sisteme etkisi 17
Şekil 2.7a : Bir binanın çatısında bulunan beton bir çıkıntının aynı gün içinde oluşturduğu gölge: Saat 10:00 17
Şekil 2.7b : Bir binanın çatısında bulunan beton bir çıkıntının aynı gün içinde oluşturduğu gölge: Saat 12:00 17
Şekil 2.7c : Bir binanın çatısında bulunan beton bir çıkıntının aynı gün içinde oluşturduğu gölge: Saat 14:00 17
Şekil 2.8 : Gölgeye sebep olacak yapıların kuzeye konumlandırılması 18
Şekil 2.9 : Cephe balkon ve merdiven uygulamasına bir örnek 19
Şekil 2.10 : İnce film ve polikristal FV modüllerin gölgeden etkilenme oranları 20
Şekil 2.11 : İnce film FV modüllerde gölgenin etkisi 20
Şekil 2.12 : Spektral hassasiyet grafiği 21
Şekil 2.13 : Farklı sıcaklıklarda ince film FV modülün Vmpp aralık değeri 21
Şekil 2.14a : 4 farklı bölgeye ayrılmış FV sistem : Yatay konumlandırılmış bölüm 22
Şekil 2.14b : 4 farklı bölgeye ayrılmış FV sistem : Dikey konumlandırılmış bölüm 22
Şekil 2.14c : 4 farklı bölgeye ayrılmış FV sistem: Yatay konumlandırılmış diğer bölüm 22
Şekil 2.14d : 4 farklı bölgeye ayrılmış FV sistem: Belirli zamanlarda gölgeye maruz kalan bölüm 22
Şekil 2.15 : 2 bypass diyotlu FV modül 23
Şekil 2.16 : Bypass diyotunun FV modüle etkisi 23
Şekil 2.17 : Kötü FV modül montajına örnek 24
Şekil 2.18 : Kötü kablolamaya bir örnek 25
Şekil 2.19 : Kablo kanalı kullanımı 25
Şekil 5.1a : BAPV uygulama örnekleri 37
Şekil 5.1b : BIPV uygulama örnekleri 37

Şekil 5.2a : EN 50583 standartına göre tanımlanan BIPV uygulama şekilleri: Eğimli, çatıya entegre, bina içinden erişilemez.....39
Şekil 5.2b : EN 50583 standartına göre tanımlanan BIPV uygulama şekilleri: Eğimli, çatıya entegre, bina içinden erişilebilir.....39
Şekil 5.2c : EN 50583 standartına göre tanımlanan BIPV uygulama şekilleri: Dikey, bina içinden erişilemez......39
Şekil 5.2d : EN 50583 standartına göre tanımlanan BIPV uygulama şekilleri: Dikey, bina içinden erişilebilir.....39
Şekil 5.2e : EN 50583 standartına göre tanımlanan BIPV uygulama şekilleri: Bina içinde harici olarak entegre, erişilebilir veya erişilemez.....39
Şekil 5.3 : U.S. batı bölgesi güç yönetimi enerji binası.....39
Şekil 5.4 : Presidio milli parkı çatısındaki BIPV uygulaması.....40
Şekil 5.5 : Presidio milli parkı çatısındaki BIPV uygulamasının bina içerisinden görünüşü.....41
Şekil 5.6 : 4 Times Square binası.....41
Şekil 5.7 : State University of New York binası.....42
Şekil 5.8a : BAPV uygulama şekilleri: Eğimli, çatıya ekleme, bina içinden erişilemez.....45
Şekil 5.8b : BAPV uygulama şekilleri: Düz, çatıya ekleme, bina içinden erişilemez.....45
Şekil 5.8c : BAPV uygulama şekilleri: Yatay, çatıya ekleme, bina içinden erişilemez.....45
Şekil 5.8d : BAPV Uygulama Şekilleri. Dikey, cepheye ekleme, bina içinden erişilemez.....45
Şekil 5.9 : Kurulum (B)'ye örnek BAPV uygulaması.....46
Şekil 5.10 : Kurulum (C)'ye örnek BAPV uygulaması.....47
Şekil 5.11 : Kurulum (A)'ya örnek BAPV uygulaması.....47
Şekil 5.12 : Türkiye ÇTFV kurulumu yıllık büyüme potansiyeli.....50
Şekil 7.1 : Örnek binanın Google Earth görüntüsü.....59
Şekil 7.2 : Çatının PVSYST programında modellemesi.....63
Şekil 7.3 : Batı kısım için gölgelenme analizi (Gün Batımı).....64
Şekil 7.4 : Doğu kısım için gölgelenme analizi (Gün Batımı).....66
Şekil 7.5 : Örnek binanın elektrik tüketim değerlendirmesi.....68
Şekil 7.6 : Örnekbinanın yakıt tüketim değerlendirmesi.....69
Şekil 7.7 : Örnek binanın aylık bazda enerji tüketim karşılaştırması ve trend çizgisi.....70
Şekil 7.8 : HIT güneş paneli farkı (Soldaki HIT).....71
Şekil 7.9 : HIT güneş panelleri güç kapasitesi karşılaştırması.....71
Şekil 7.10 : Çatı kurulumlarında MPPT kullanımının avantajı.....72
Şekil 7.11 : Tek hat şeması.....73
Şekil 7.12 : Aylık bazda üretim sapması.....74
Şekil 7.13 : Yıllık degredasyon için regresyon analizi.....77

BİNAYA EKLEME FOTOVOLTEİK SİSTEMLERİN BİR KONUT BİNASI ÇATISINDA UYGULAMASI

ÖZET

Bu tezin amacı; binaların elektrik tüketimlerinin kendi bünyesinde üretebilmesinde güneş enerjisi sistemlerinin önemi ve şebeke enerjisine olan bağımlılıklarının azaltılma kapasitelerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, Enerji Piyasası Denetleme Kurumu'nun 28.12.2017 karar tarihli kurur kararına uygun olarak Soma Termik Santrali'nin Lojmanlar'ından seçilen örnek iki katlı bir evin üretim ve gelir analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın başlangıç bölümünde çatı tipi BAPV ve BIPV sistemlerinin dünyadaki durumu, Türkiye'deki durumu, uygulanması aşamasında uyulması gereken standartlar, teknoloji ve teknik altyapı yeterlilikleri, önündeki engeller ve konu ile alakalı literatür araştırmaları yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde dünyada ve Türkiye'de BAPV ve BIPV uygulama şekilleri, farklılıkları, birbirine karşı avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır ve örnek uygulamalar araştırılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise BAPV sistemleri için uygulama metodolojisi oluşturularak nelere dikkat edilmesi ve nelerin analiz edilmesi gerektiği sıralanmıştır. Bu sıraya göre de seçilen örnek evin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan sayısal çalışmalarda Meteonorm, PVGIS, NASA veri setlerinden faydalanılmış ve "Excel" ile "PVSYST" programları kullanılmıştır. Araştırmalar ve ileriye dönük projeksiyonlar neticesinde elde edilen veriler excel programına aktarılarak degredasyon oranı hesaba katılmış, yıllara sari üretim değerleri hesaplanmıştır.

Örnek çalışma özelinde; mevcut binanın güneş görme süresi ve yıl içi değişen iklim koşulları dikkate alınarak iklim veri analizi yapılmıştır. Çatının mevcut uygunluk durumuna göre gölgelenme analizi yapılmıştır ve gölgelenme kaybını en aza indirmek için teknik tasarım belirlenmiştir. Binanın enerji modelinden faydalanılarak tüketim verilerine göre kurulu güç hesapları yapılmıştır. Türkiye özelinde kurgulanan bu proje ile ilgili standart ve mevzuat araştırması yapılmış ve yasal süreçler dikkate alınmıştır. Uygun elektriksel tasarım belirlendikten sonra üretim analizleri yapılmış ve bunun neticesinde performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Son bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

INSTALLATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ON THE ROOF OF A HOUSING BUILDING

SUMMARY

Renewable energy sources (wind, solar, biomass, wave, hydrogen, geothermal, etc.), which are more sustainable and environmentally friendly due to the fact that fossil fuel reserves will be depleted in the near future and irreparable damage to the environment, have long been the main topic in the energy policies of all countries. The issue of clean energy, which has become a global awareness, has made renewable energy popular. The most distinctive feature of solar technology is that it is the only technology that can be scaled among renewable energies. Scalability has made the use of photovoltaic technology known to everyone and has become widespread with the problem of carbon emissions.

BAPV and BIPV applications began to spread throughout the world in the 1990s. Before these years, photovoltaic technology was installed only in the land. However, with the development of technology, increasing the efficiency of solar panels and becoming an accessible technology, the building roofs and facades started to produce electricity.

The aim of this study is to investigate the importance of solar energy systems and their capacity to reduce their dependence on grid energy. In this context, the production and income analysis of an example two-storey house selected from the Housing Complex of Soma Thermal Power Plant in accordance with the ruling decision of the Energy Market Supervision Agency dated 28.12.2017 was carried out.

In the first part of the study; the world situation of the BAPV and BIPV system, the situation in Turkey, standarts to be followed in the implementation process, technology and infrastructure adequacy, associated with obstacles and issues literature searches were performed. These studies include the ability to meet the electrical demand of BAPV and BIPV systems, building conformity analysis, production analysis, cost analysis, the difference between the roof and façade installation and engineering. The most important feature that distinguishes this study from others to consider the legislation in Turkey, going into technical design details, making appropriate design and production analysis is the creation of the income statement. In other words, engineering, regulation monitoring, analysis, finance and technology are all considered as one and form a methodology for this multidisciplinary structure. Literature research has also been conducted on these subjects.

Also in this part of the study, the properties of photovoltaic panel technologies are compared and classified. What should be considered when selecting solar panels for BAPV and BIPV applications is stated.

In the second part of the study; total capacities in Turkey and Others has been compared, the annual growth projection has been investigated.

From a technical point of view; The difference of these applications from land type solar power plants has been investigated and design criteria have been focused on. Important topics such as location and direction selection, climate data analysis, shading analysis, technology analysis and product selection and assembly criteria are detailed.

From a regulation point of view; International and Turkish standarts are detailed. Espacially, Turkish regulation has been investigated. Incentive mechanisms in Turkey, regulations and standarts was investigated and searched for answers to what can be done. Turkey is faced with a lot of changes because of new regulations in the solar industry. This poses a disadvantage both in terms of regulation monitoring and information reliability. This and many other obstacles have been detailed and solutions have been presented.

In addition, Application forms of BAPV and BIPV in Turkey and global side, differences between BIPV and BAPV, advantages and disadvantages are compared against each other and sample applications have been investigated.

In the third part of the study; the application methodology for BAPV systems has been created. What needs to be considered and what needs to be analyzed are listed. According to this, the analysis of the selected house was carried out.

In the numerical studies, Meteonorm, PVGIS, NASA data sets were used for the climate analysis. Excel and PVSYST programs were used. The data obtained as a result of the researches and prospective projections were transferred to the excel program and the degredation ratio was taken into account and the yearly production values were calculated.

In the case study; For the location of the sample building, radiation and temperature values were found according to the three different data sets mentioned above. Climate data analysis were performed by taking into consideration the sun hour period of the current building and changing climatic conditions during the year. Location and direction are selected and the roof is divided into 4 different regions. The roof is modeled in 3D by the PVSYST program. Shading analysis is performed after modeling. As a result of these analyzes, it was calculated that considering the western and eastern parts as separate power plants would result in less shading loss and the project was formed in this way. Shading analysis was performed according to the current suitability of the roof and technical design was determined to minimize the loss of shading. Consumption data of the building were taken from the studies of ITU Energy Institute. Electricity production is carried out under three main headings: pumps, various equipments and lighting. The installed power are calculated according to consumption data by utilizing the energy model of the building. Standarts and legislations related to this project were conducted and legal processes were taken into consideration. Since the installed system will be installed within the framework of the roof regulation, the study has been carried out by taking this regulation into consideration. Then, photovoltaic design analysis was performed. These analyzes include technology and product selection. After the selection of solar panel and inverter, electrical design was realized. Optimum design is made for each part of the roof which is divided into 4 different regions. After determining the appropriate electrical design, production analyzes were performed and according to the results, performance analyzes were performed. Since production analyzes were performed according to 3 datasets, production deviations were

calculated on a monthly basis. These calculations; is a handbook for the healthier operation of the power plant. Production analyzes include probability calculations. It also offers us P95, P90 and P50. Gauss distribution method is used to make these calculations. The 25-year investment and the degradation of the solar panels every year necessitated the annual degredation calculation. In this calculation, monte carlo simulation method was applied and annual degredation rates were calculated. As a result of the production analyzes, income statement was formed.

As a result of the calculations, a production deviation of 11% was found. The first P50 production value of the BAPV system, which is planned to be 29.9kWp, was analyzed as 31,75MWh per year. When degredation is taken into account, it is estimated that 27,50MWh electricity will be produced after 25 years. When monthly settlement occurs; When you start the system in January, a 3-month cash negative position is increased. If the system is activated between April and September, the cash flow from the first month can be positive.

1. GİRİŞ

Enerji; toplumların gelişimi için sürükleyici bir unsurdur. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artarak devam etmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı, sanayileşmenin artması, toplumların refah seviyelerindeki artış, teknolojinin hızla ilerlemesi gibi sebepler akabinde enerji ihtiyacını gün geçtikçe artmasına sebep olmaktadır.

Fotovoltaik teknolojisi güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren bir teknolojidir. Sistemde herhangi bir hareket mekanizmasının olmaması sistemi sessiz kıldığı kadar bakım işlemlerinin de oldukça kolay olmasını sağlamaktadır. Hava kirliliğine sebep olmaması, fosil yakıt maliyetlerinin artması, iklim değişikliğinin önüne geçilmeye çalışılması ve güneş enerjisi santrallerinin ölçeklenebilir olması fotovoltaik sistemlerin elektrik üretiminde ilk sıralarda tercih edilmesine sebep olmaktadır.

21. Yüzyılın başından beri fotovoltaik teknolojisinde ivmelenerek artan araştırma çalışmaları ve akabinde sektörel gelişmeler meydana gelmiştir. Teknolojik gelişmeler beraberinde finansal kolaylıklar, finansal kolaylıklar da insanlara kendi elektriklerini üretme hakkını getirmektedir.

Fotovoltaik teknolojinin birçok kullanılış şekli vardır;

-Şebekeden bağımsız, aküye bağlı sistemler.

-Şebekeye bağlı, güneş tarlası olarak adlandırılan ticari santraller.

-Şebekeye bağlı, çatıyı zemin olarak kullanan sistemler.

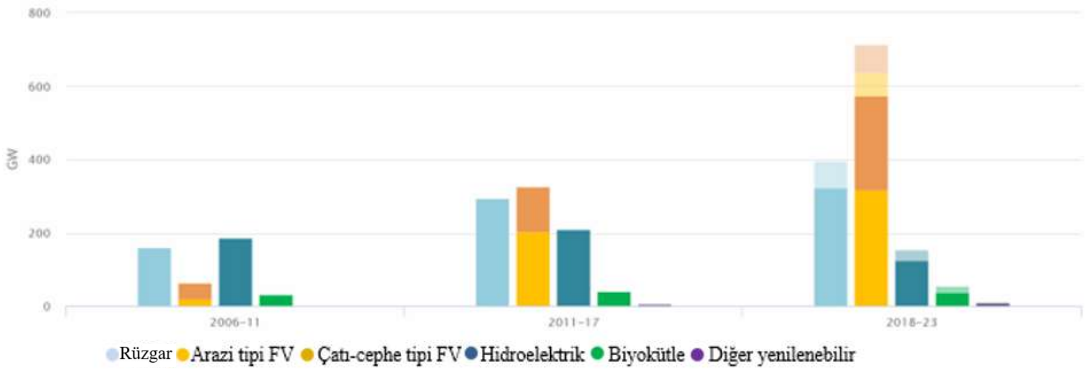
-Şebekeye bağlı, binaya entegrasyonu sağlanarak kullanılan sistemler (çatı veya cephe).

-Şebekeden bağımsız, binaya entegrasyonu sağlanarak kullanılan sistemler (çatı veya cephe).

1.1 Fotovoltaik Uygulamalarının Yenilenebilir Enerjideki Yeri

Gelişen teknoloji ve farkındalık, tüm dünyada kendi elektriğini üretmeye yönelik bilimsel çalışmaların ve akabinde uygulamaların artmasına sebep olmaktadır. Son yıllarda, binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı göz önünde bulundurulduğunda, güneş enerjisinden elektrik üretiminin en çok tercih edilen teknoloji olduğu görülmüştür.

Fosil yakıt rezervlerinin yakın gelecekte tükenecek olması ve çevreye verdiği telafisi olmayan zararlarından dolayı daha sürdürülebilir ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgâr, güneş, biokütle, dalga, hidrojen, jeotermal vb. enerji kaynakları uzunca süre tüm ülkelerin enerji politikalarında ana başlığı oluşturmaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında yakıt bulma ve ölçeklenebilirlik açısından en uygun olan güneş enerjisi teknolojisi Haziran 2018'de KONDA Araştırma ve Danışmanlık firmasının yaptığı yenilenebilir enerji trendi araştırmasına göre %70,5 ile insanların ilk tercihi olmuştur [1].



Şekil 1.1: Yenilenebilir enerji kapasite durumu ve öngörüsü [3].

Binaya ekleme fotovoltaik(BAPV) sistemlerin elektrik talebini karşılayabilme konusunda sağlayacağı faydayı göstermek için Desi Luvita, Mohammed Kholid ve Rachmawan Budiarto Hindistan'daki yükselen elektrik talebine BAPV ve binaya entegre fotovoltaik(BIPV) sistemlerin katkısını konu almıştır. Yaptıkları çalışmaya göre BPS web sitesinden aldıkları ev verilerini Long-rande Energy Alternative Planning(LEAP) bilgisayar programında analiz etmişlerdir ve sonuç olumlu çıkmıştır. Bu çalışmada da bizim çalışmamız gibi BAPV sistemler için çatılar analize dahil edilmiştir [25].

Var olan bir binanın hızlı bir şekilde BAPV için uygun olup olmadığını geometrik metotlar yardımıyla hızlı bir şekilde öğrenmek isteyen Zhang Wen ve ekibi farklı kat

sayısına ve farklı rakıma sahip binalar için farklı metotların daha doğru değerler verdiğini analiz etmiştir. Fotoğraflama açısının ve ölçeklemenin etkisinden bahsetmiştir. Bulguları sayesinde tipik bir binanın BAPV potansiyeli hakkında bilgi sahibi olunmasını hızlandırmıştır. Bu çalışma; bizim seçtiğimiz örnek ev için alçak bina olmasından dolayı zemin fotoğrafçılığını önermektedir [26].

Wenli Wang ve ekibi Shanghai'da 3 kilowatt(kW) BAPV sistemler için üretim analizi ve geri dönüş hesaplamaları yapmıştır. Bu çalışmada üretim analizi PVSOL programı ile Meteonorm iklim veri seti ile yapılmıştır. Biz bu programdan farklı olarak PVSYST ile analiz yaptık. Ayrıca sadece Meteonorm değil, 3 adet iklim veri seti kullanarak standart sapma hesapladık. Bu yöntem; çalışmamızın Wenli ve ekibinin çalışmasına göre daha gerçekçi sonuçlar vermesini sağlamıştır [27].

Bu çalışmadan farklı olarak Chao Zhou ve ekibi perde duvar olarak BAPV sistem uygulaması yapmıştır. Çalışma; Çin'de bulunan Dalian University of Technology'de bulunan Enerji Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın ve rüzgârın panel performansına olan etkisi araştırılmıştır. Sistem ile yıllık 6070kWh elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir [28].

BAPV sistemlerde sıcaklığın ve rüzgârın güneş panellerine olan etkisini ölçmek için bir başka çalışma da Dirk Goossens ve ekibi tarafından yapılmıştır. BAPV sistemlerde hava boşlukları olduğu için BIPV sistemlere göre daha kolay soğuma sağlandığı görülmüştür. Bu da BAPV sistemlerin daha verimli olmasını sağlamaktadır [29].

Corcelli ve ekibi Akdeniz Bölgesi'nde sürdürülebilir şehir plancılığı konusunda binalarda enerji gereksinimini en iyi karşılayacak metodun BAPV sistemler olduğundan ve çevreye verdiği faydalardan bahsetmiştir [30].

Güneş panellerinin performansının ışınımdan direkt etkilenmesini konu alan bir çalışmada azimut ve eğim açılarının performansa olan etkisinden bahsedilmiştir. Çalışma; yeni yapılacak binaların güneş enerjisinden faydalanabilmesi için dikkat etmesi gereken eğim kurallarını belirlemeye çalışmıştır. Bizim çalışmamız hazır bir eve yapıldığı için bu çalışmadan farklıdır. Örnek ev çalışmasında azimut 0, eğim açısı 32 alınmıştır [31].

BAPV sistemlerde kullanılan panel teknolojileri üzerine Joana ve ekibi bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada geleneksel fotovoltaik teknolojisi olarak geçen çerçeveli kristalin teknolojisine sahip paneller ile yapışkan ve esnek panellerin halk üzerindeki

etkisi anket ile anlaşılmaya çalışılmıştır. 400 bina sakinine yapılan bu anket sonucuna göre; yapışkan panellerin uygulama kolaylığı, ucuz işçilik ve bakım maliyetinin azlığı sebebiyle daha çok ilgi gördüğü gözlenmiştir. Fakat bir grup da gelişen teknoloji ile ortaya çıkan ürünlerin bazı engelleri de beraberinde getirdiği endişesini taşımaktadır. Yapışkan kısmın dayanımı, panellerin sökülüp takılabilme yeteneği gibi üreticinin ele alması gereken konularda bilgi sahibi olmak istemektedirler. Türkiye'de yapışkan panel üretimi olmadığı için çalışmamızda geleneksel fotovoltaik teknolojisini kullandık [32].

BAPV ve BIPV sistemlerin üretim karşılaştırması yapan Nallapaneni ve ekibi BAPV sistemlerin daha az sistem kaybı ile çalıştığını analiz etmişlerdir. Bizim kullandığımız iklim veri setinden farklı olarak PVGIS'i kullanarak BIPV'de termal kayıplar başta olmak üzere sistem kayıplarının daha fazla olduğunu analiz etmişlerdir ki mart ayında BIPV sistemi 4240kWh üretim gerçekleştirirken BAPV sistemi 4420kWh üretim gerçekleştirmiştir [33].

Xinfang Wu ve ekibi PVSYST programı ile BAPV sistemi için üretim analizi çalışması yapmış ve uzaktan izleme sistemi ile bu üretimlerin gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol etmiştir. Beklenen üretim değeri 3220kWh iken, gerçekleşen üretim değeri ise 3189kWh'tir. Aradaki %1'lik fark uzaktan izleme sistemi ile üretim analizinin birlikte oluşturduğu tolerans aralığıdır. Bu çalışmamızda kullandığımız PVSYST simülasyon programının doğruluğunu kanıtlar niteliktedir [34].

1.2 Fotovoltaik Modüllerin Özelliklerine Göre İncelenmesi

BIPV sistemlerde kullanılan FV Modüller yapısal ve elektriksel özelliklerine göre gruplandırılmaktadır.

1.2.1 Yapısal özelliklerine göre gruplandırma

Esnek ve sert FV modüller olarak sınıflandırılırlar.

Sert FV modüller tüm ticari güneş enerjilerinde kullanılan FV modül teknolojileridir. Sırt folyoları (backsheet) olan, metal çerçeveli, hücreleri koruyan bir cama sahip FV modüllerdir. Hücrelerdeki teknoloji seçimlerine göre verimleri değişkenlik göstermektedir. Çizelge 1.1'de teknolojiye göre verimler gösterilmektedir. Mekanik

özelliklerine bağlı olarak, sert BIPV modülleri, cephe kaplamaları ve çatılar için geleneksel kaplama malzemelerinin yerini kolaylıkla alabilir.

Burada, ulusal bina yönetmeliklerinin ve inşaat gereksinimlerinin tanımladığı aynı şartları yerine getirmek zorunda olduklarını belirtmek önemlidir [10]. Şekil 1.2'de BIPV uygulamasına örnek verilmiştir.



Şekil 1.2: Standart FV modül ile BIPV uygulaması.

Esnek BIPV modüller aynı zamanda yeni nesil FV modüller olarak adlandırılmaktadırlar. Organik hücreler (OPV), boyaya duyarlı hücreler (DSC), perovskite hücreler (PSC) ve bütün ince film hücre teknolojileri (a-Si, u-Si, CIGS) bu sınıfa girmektedir [14]. Şekil 3.1'de esnek FV modül ile yapılan bir BIPPV uygulamasına örnek verilmiştir.

Çizelge 1.1: FV Modül teknolojilerine ait maksimum verim ve kWp başına gerekli alan [14].

Teknoloji	Max. Verim %	FV Modül Verimi %	Gerekli Alan m2/kWp
c-Si	25	22,9	4,4
CIGS	22,3	17,5	5,7
CdTe	21,5	17,5	5,7
a-Si	13,6	10,9	9,2
DSC	11,9	-	-
OPV	11,5	-	-



Şekil 1.3: Esnek FV modül ile BIPV uygulaması.

1.2.2 Optik özelliklerine göre gruplandırma

Yeni nesil teknolojiler olarak adlandırılan renkli FV modüller birçok farklı renge sahiptirler. İnce film ve kristal teknolojilerinin malzemeleri sınırlı bir dereceye kadar renklendirilebilir veya renkli ön kapaklar kullanılarak ortaya çıkan görünüm değiştirilebilir. Bir modülün PV-aktif bileşenlerinin önüne renkli katmanlar eklemek, modülün verimliliğini azaltacaktır. Bu sebeple bu ürünlerin verimleri oldukça düşüktür [14]. Şekil 1.4'te Dye FV modül ile yapılan bir BIPV uygulamasına örnek verilmiştir.



Şekil 1.4: Dye FV modül ile BIPV uygulaması.

Transparan hücreler de bir diğer gruptur. Fizik kurallarına göre FV hücrelerin %100 transparan olması mümkün değildir. Çünkü FV hücreler güneş ışınımın absorbe ederek

elektrik üretirler. Yarı saydam bir görünüme sahip ince film bazlı BIPV modülleri [a-Si, CIGS] örnekleri vardır. Bu hücrelerde elektrotlar için metal yerine şeffaf iletken oksitler uygulanır ve nötr gri tonda renklidirler. Başka bir yöntem de PV-aktif alanlar arasındaki mesafeyi değiştirmektir. Böylece BIPV modülünün saydamlığı arttırılır fakat aynı zamanda verimliliği azaltılır [14]. Şekil 1.5'te transparan fotovoltaik modül ile yapılan bir BIPV uygulamasına örnek verilmiştir.



Şekil 1.5: Transparan FV modül ile BIPV uygulaması.

Çatı ve cephe alanlarındaki sınırlı alan nedeniyle, BIPV sistem verimliliği mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Çoğunlukla difüzif ışınım durumlarında BIPV sistemlerinin enerji verimini optimize etmek için ayrıntılı bir elektrik tasarımına ihtiyaç vardır. Bu ürünler verim düşüklüğü sebebiyle şimdilik tercih edilmemektedir.

Bu geniş teknoloji yelpazesinden, çok çeşitli BIPV sistemlerini tanımlamak mümkündür. Gelecekte, BIPV modüller gelişerek bir emtia yapı ürünü olacaktır. Yeni teknolojilerin çoğu doğal olarak farklı renklere ve yarı şeffaflığa izin verir, bu yüzden büyük bir tasarım potansiyeline sahiptirler. Bu büyük tasarım potansiyelinin kullanımı, BIPV ürünleri için tasarım ihtiyaçlarına yönelik ana odak noktasıyla yeni pazar segmentlerini açacak ve artıracaktır [14].

2. FV TEKNOLOJİLERİNİN BİNALARDAKİ UYGULAMASI (BIPV-BAPV)

Dünyadaki enerji tüketiminin çok büyük bir kısmı binalarda gerçekleşmektedir. Dünyadaki enerji talebinin %40'ını konutlar oluşturmaktadır. Fosil yakıtlar ve uranyum sınırlı miktarda olduğu için yenilenebilir enerjinin kullanılması kaçınılmazdır. Bu sebeple binaların kendi elektriğini üretebiliyor olması önemli bir konu haline gelmiş ve günümüze kadar binaların kendi elektriğini üretmesi ile ilgili oldukça fazla sayıda bilimsel çalışmalar yapılmıştır, yapılmaya devam edecektir. Her ne kadar teknolojik gelişmeler bu sistemlerin kurulumunu kolaylaştırsa da projelendirme aşamasında dikkat edilmesi gereken çok fazla faktör vardır. Bölgenin güneşlenme süreleri, ışınım değerleri, binanın konumu, binanın yönü, binadaki enerji tüketimi, kullanılacak malzemenin dayanımı, binanın diğer fonksiyonlarını engellememesi, gölgelenme gibi faktörlerin hepsi kurulacak sistemin optimum verimde ve ömürde çalışmasında etkili olmaktadır. Binaya kurulacak fotovoltaik sistemlerin tasarımını etkileyen tüm bu faktörler optimum verimi sağlarken, aralarından birinin bile düşünülmemesi sistemin beklenen verime ulaşmaması anlamına gelmektedir.

Çatı ve cephe uygulamaları uygulama şekillerine göre çeşitlilik göstermekle birlikte binalara elektrik üretimi dışında da birçok avantaj sağlamaktadır. Termal izolasyon, sert hava şartlarına karşı koruma, ses yalıtımı ve gölgeleme bunlardan en çok karşılaşılanlarıdır.

İtalya'da yapılan bir başka çalışmada, Avrupa boyutuna odaklanarak binaya entegre ve çatı kurulumu pazarının mevcut durumunu ve görünümünü kısaca gözden geçirmiştir. Bu alandaki eğitim ihtiyaçları üzerine görüşlerin bir anket yoluyla toplanması ve eğitimdeki temel bilgi eksikliklerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çıkan sonuçlar ise ileride ders materyallerinin geliştirilmesi için kullanılacaktır [4].

21. yüzyıl başlarına kadar; bina çatılarına yapılan fotovoltaik tasarımlar için teknolojik ve uygulanabilirlik anlamında çeşitli bariyerler bulunmaktaydı. Fakat son yıllarda ciddi oranda azalan maliyetlere bir de psikolojik ve sosyal faktörler de eklenince tüm

dünyada artış trendi kendini göstermeye başladı ve mimarlar kendi enerjisini üretebilecek yapılar tasarlamaya başladı.

1990 yılında New York'un en uzun gökdeleni olan Durst Şirketi'ne ait yapıda otuz yedinci kattan kırk üçüncü kata kadar gerçekleştirilen cephe kaplama Amerika'daki ilk cephe kaplama olarak anılmaktadır. 14kWp'lik bu sistem yılda 13.800kWh elektrik üretmesi öngörülmüştür. İnce film teknoloji kullanılan bu sistemde 3 adet evirici kullanılmıştır. Fox &Fowle mimarları ile Kiss&Cathcart mimarlarının ortak tasarımı olan bu cephe kaplama aynı zamanda gökdelenin duvarını oluşturmaktadır [10].

1996 yılında California'nın San Francisco eyaletinde bulunan bir kamu binasının çatısında yapılan uygulama ise Amerika'daki ilk çatı tipi uygulaması olarak anılmaktadır. 1.25 kWp'lik bu sistemin yılda 716kWh elektrik üretmesi öngörülmüştür. Polikristal teknolojisi kullanılan bu sistemde 1 adet evirici kullanılmıştır. Tanner, Leddy, Maytum Stacy adında mimarların ortak tasarımı olan bu çatı tipi çalışmada aynı zamanda gün ışığının kullanımı amaçlanmıştır [10].

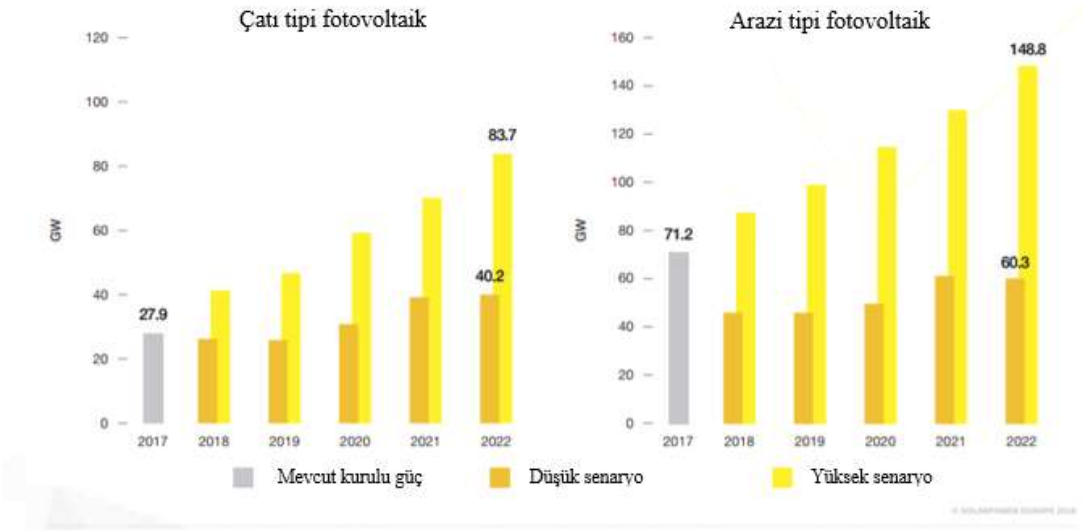
Amerika Enerji Departmanı (DOE's) ve Uluslararası Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL)'nın ortaklaşa yaptığı analizde araziye kurulan güneş enerjisi sistemlerinin geri dönüş süreleri ile çatı tipi sistemlerin finansal geri dönüşleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada düzgün çatı seçimi yapıldığında arazi tipi güneş santrallerine göre daha kısa geri dönüş sürelerine sahip çatı kurulumlarının mümkün olduğu gözlenmiştir. Daha az işçilik gereksinimi, kurulum ekipmanlarının daha hafif ve basit olması, işletme bakım masraflarının daha az olması, avantajlı teşviklerin bulunması gibi sebepler kurulan sistemin maliyetini azaltan kalemler olarak gösterilmektedir [11].

Çatı tipi fotovoltaik sistemler binaya entegre sistemlere göre daha yaygındır. Bunun sebepleri olarak teknolojik yeterlilikten, kuruluma uygun çatı yapılarından ve kurulum kolaylığından bahsedilebilir.

2017 yılında dünyada kurulu güç 28 GW dolaylarındayken 2022 yılında bu rakamın düşük senaryoda 40 GW yüksek senaryoda ise 85 GW olması öngörülmektedir [2].

Hindistan 2018 ve 2019 yılları için 1 GW'ı çatı kurulumu olacak şekilde 11 GW fotovoltaik sistem kurmayı planlamaktadır. 2022 yılına kadar da 40 GW'ı çatı kurulumu olacak şekilde toplamda 100 GW kurulu güce sahip olmayı

planlamaktadırlar [2]. Şekil 2.1'de Solar Power Europe'nin hazırladığı çatı ve arazi tipi kurulum öngörüsü sunulmuştur.



Şekil 2.1: Çatı ve arazi kurulum öngörüsü (2018-2022) [23].

Binaya entegre sistemlerde ise teknolojik yetersizlik ve kurulum için gerekli kalifiye insan yetersizliğinden dolayı çatı kurulumları kadar yaygın kullanıma sahip değildir.

21. yüzyıl ile küresel ısınmanın çevreye verdiği telafisi olmayan zararı gündemine alan ülkeler, kentsel dönüşüm ile yeniden yapılan binalarının ve modüler yapıda kurulan estetik görünümlü binaların cephelerini ve çatılarını fotovoltaik teknolojilerle kaplamaktadırlar. Bu teknoloji elektrik üretmenin yanında yapı malzemesi olarak da işlev görmektedir. Geleneksel yapı malzemelerini ortadan kaldıracak bu teknolojiden aynı zamanda ısı yalıtımı, ses yalıtımı, yağmurdan koruma, rüzgârdan koruma, statik açıdan sağlamlık, hava sirkülasyonu ve gün ışığının kullanımı beklenmektedir [4].

Avrupa özelinde yapılan son çalışmalar binaya entegre kurulumların üçte ikisinde yeni binaların, yarısında bina cephelerinin, üçte birinde çatıların ve kalanında da çatı-cephe kombinasyonun tercih edildiğini göstermektedir. Gerçekleştirilen kurulumların %19'u rezidans binalarda, %14'ü kamu binalarında, %13'ü sergi salonu binalarında, %9'u okul ve üniversitelerde, %7'si ise tarihi binalarda gerçekleştirilmiştir [5].

Son yıllarda hızla büyümeye başlayan Binaya entegre güneş sistemleri ile alakalı İngiliz mimar Sir Norman Foster "Solar mimarlık moda ile alakalı değil, hayatta kalmakla alakalıdır." demiştir. Yapılan bilimsel ve ticari çalışmalar Sir Norman Foster'a haklı çıkarmakla birlikte çatı uygulamalarında yol alınmasına karşın binaya entegre sistemlerde henüz anlamlı kurulum rakamları ortaya çıkmamıştır.

2014 yılında dünyadaki binaya entegre sistemlerin kurulu gücü 1.4 GW ile 2015 yılında 2.3 GW'a çıkmıştır. Bu %50'lik büyümeye işarettir. Gelişmiş ülkeler, özellikle Avrupa ve Amerika, bu teknolojide bayrağı taşımaktadır. Bunun sebebi olarak; yüksek elektrik tüketimi, elektrik fiyatlarının yüksek olması, devletin sağladığı olumlu regülasyonlar ve küresel ısınmaya karşı oluşturulan sosyal sorumluluk bilinci gösterilebilir. Aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi 2015 yılında %41,7'lik kurulum oranı ile Avrupa binaya entegre sistemlere liderlik etmiştir. Onu günümüzde Asya ve Amerika takip etmektedir [4]. Çizelge 2.1'de uluslararası BEFV büyüme öngörüsü sunulmuştur.

Çizelge 2.1: Uluslararası BEFV kurulum yıllık büyüme öngörüsü (2014-2020) [4].

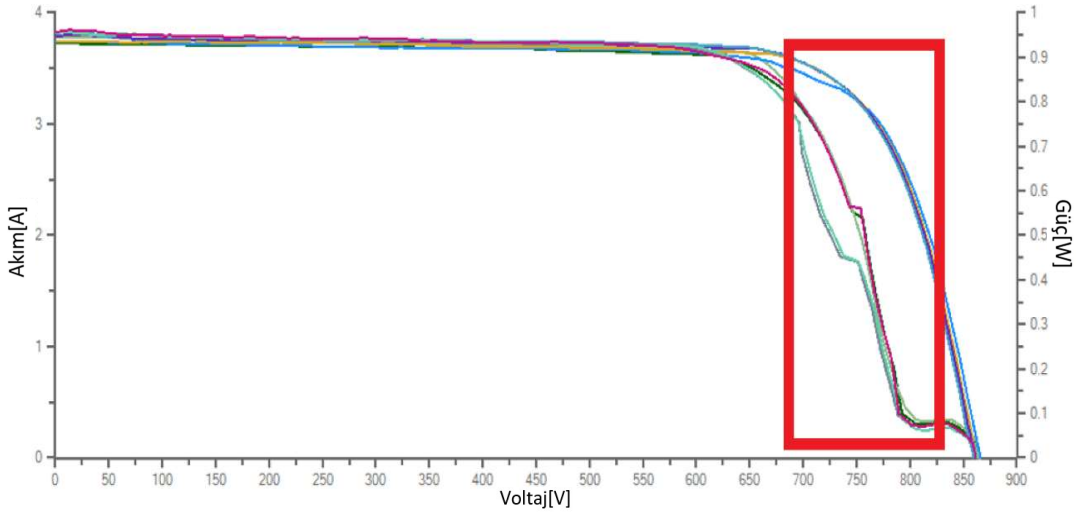
Bölge/Ülke	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR(%)
Asya/Pasifik	300	492	772	1159	1672	2329	3134	47,8
Avrupa	650	967	1441	2013	2929	3807	4838	39,7
Diğer bölgeler	81	125	184	263	355	451	561	37,9
USA	319	476	675	917	1200	1491	1766	33
Kanada	42	61	86	119	157	190	228	32,6
Japonya	143	201	268	349	434	520	612	27,5
Toplam GW	1,5	2,3	3,4	4,9	6,7	8,8	11,1	

2.1 Bina Uygulamalarının Diğer Uygulamalara Göre Elektriksel Farkı

BIPV sistemlerinin kurulumu için çok fazla elektrik planlaması gerektirir. Her mimari yapının farklı bir görünümü ve estetik yapısı olduğunu düşünürsek, elektrik altyapı tasarımlarının da bu estetiği bozmaması gerekir. Bu kısıtlamalar ise tip proje tasarımlarına engel olmaktadır ve maliyeti de artırmaktadır [14].

Arazi tipi veya çatı üstü fotovoltaik uygulamalar ile BIPV uygulamalar arasında bazı farklar vardır. İlk olarak, PV hücreleri üzerine gelen ışınım hemen hemen hiçbir uygulamada homojen değildir. Binanın malzemeleri kısmi gölgelendirmeye sebep olmaktadır. Bu durum BIPV modüllerinin etraftaki nesnelerden (binalar) kaynaklı ışınım kayıplarına ve farklılıklarına sebep olmaktadır. Seri bağlanan bu sistemlerde elektriksel uyumsuzluk sorunu ortaya çıkar. Seri bağlı olan FV modüllerde sistem en düşük ışınıma sahip olan hücreye göre hareket eder ve ona uyarak elektrik üretir. En düşük akım en az ışınıma sahip bölümde olacağı için de sistem ona uygun bir şekilde

hareket eder ve ciddi güç kayıplarına yol açar [14]. Şekil 2.2'de gölgenin güç kaybına etkisi görülmektedir.



Şekil 2.2: Gölgenin FV dizi performanslarına etkisi.

Çoğu BIPV sistem şebekeye bağlanır. Bu, FV modüller tarafından üretilen DC gücün bir evirici ile AC güce dönüştürülmesini gerekli kılar. Bu eviriciler yine sınırlı sayıda kabul edilebilir elektriksel DC spesifikasyonlarına sahiptir. Bir FV sisteminin gücü nominal MPP gücünün önemli ölçüde altına düşerse, evirici çalışma modunu sabit voltaj olarak değiştirerek ek bir güç kaybına yol açabilir. Bununla birlikte, DC miktarları evirici özelliklerini aşarsa, evirici hasar görebilir. Bu nedenle BIPV elektrik üretiminin elektrik detaylarını anlamak çok önemlidir. BIPV sisteminin elektrik devresi (özellikle seri ve paralel devrelerde PV modüllerinin birleştirilmesi; uygun evirici özelliklerinin seçimi) önceden hesaplanmak zorundadır. Bu prosedürü BIM bağlamında otomatikleştirmek, planlama sürecini önemli ölçüde basitleştirmekle kalmayacak, aynı zamanda inşaat sürecindeki herhangi bir BIPV ile ilgili değişikliklerin gerçekleşmesi durumunda gerekli olan prosedürleri basitleştirecektir [14].

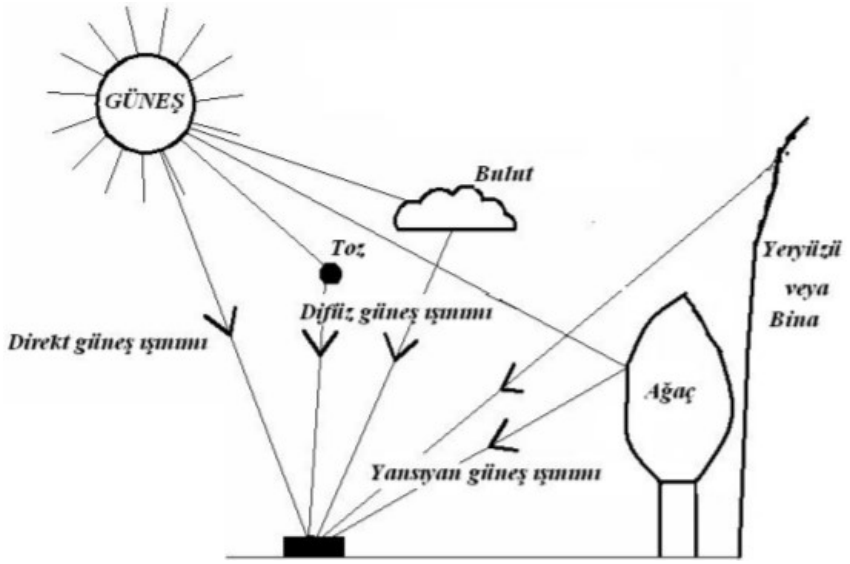
2.2 Tasarım Kriterleri

Bina uygulamalarında üretimi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. FV modüllerin performansını etkileyecek olan her türlü çevresel ve bölgesel etken dışında, yapının görünümünü etkileyecek olan bu sistemlerin, entegre bir biçimde tasarımlarının yapılabilmesi, aşağıdaki belli başlı kriterleri göz önünde bulundurmak gereklidir.

2.2.1 Saha analizleri

2.2.1.1 Konum ve yön seçimi

Fotovoltaik malzemeler ışınımı direkt olarak elektriğe çeviren malzemelerdir. Dolayısıyla FV bir sistemin elektrik üretebilmesi için ilk gerekli parametre olan ışınımın yoğunluğu ve geliş açışı oldukça önemlidir. Tasarım sürecinin bir parçası olarak, FV modülleri içerecek cephelerin eğimini ve yönelimini proje başlangıcı olarak kabul edebiliriz. Eğim ve yönelimin önemini anlamak için, ışınımın bina yüzeylerine nasıl ulaştığını gözlemlemeliyiz. Işınım; difüzif ışınım ve direkt ışınım olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Direk ışınım, güneşin konumuna ve güneşin izlediği yolu bağlıdır. Difüzif ışınım, bulutlardan ve puslardan yansıyarak bir yüzeye ulaşır. Şekil 2.3'te güneş ışınım bileşenler gösterilmiştir.

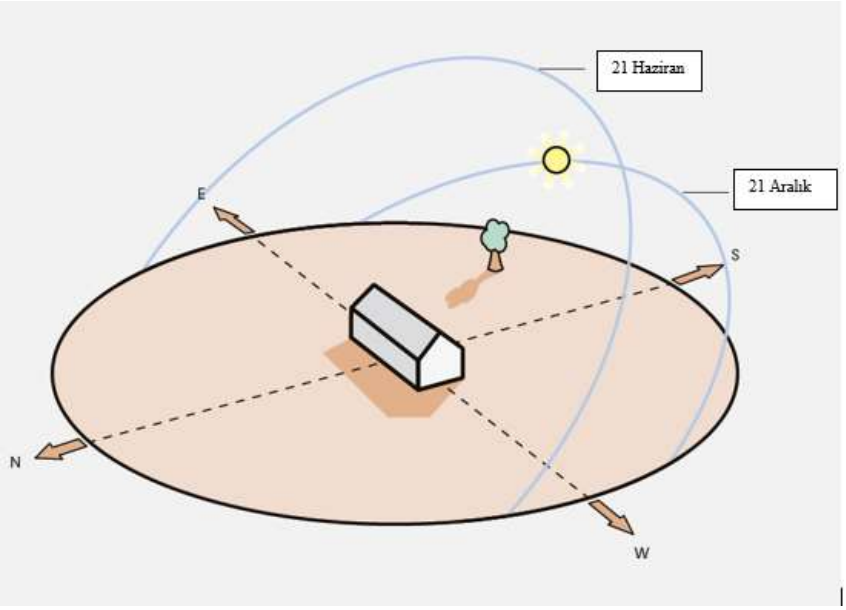


Şekil 2.3: Güneş ışınım bileşenleri [18].

Eğer yeni inşa edilecek bir binaya fotovoltaik uygulaması entegre edilecekse konum seçiminin ona göre yapılması gerekmektedir. Konum; FV sistemin tasarımına başlamadan önce göz önünde bulundurulmalıdır. Arazi üzerinde yapının elde edebileceği maksimum verim yönü belirlenmeli ve yapı buna göre yönlendirilmelidir.

Kuzey yarım küredeki kurulumlarda, fotovoltaik uygulamaların güneye bakması ilk önceliktir. Genelde FV sistemlerde en uygun eğim açısı için bulunulan enlemin derecesinin 10° altının alınabileceği söylense de FV sistemin uygulanacağı konuma göre üretim analizlerinin yapılması gerekmektedir. Sabit açılı sistemlerde FV modüller yaz mevsimine göre konumlandırıldığında daha iyi yıllık performanslar

alınabilmektedir. Şekil 2.4'te kuzey enleminde yaz ve kış mevsimlerine göre güneşin izlediği yol gösterilmiştir.

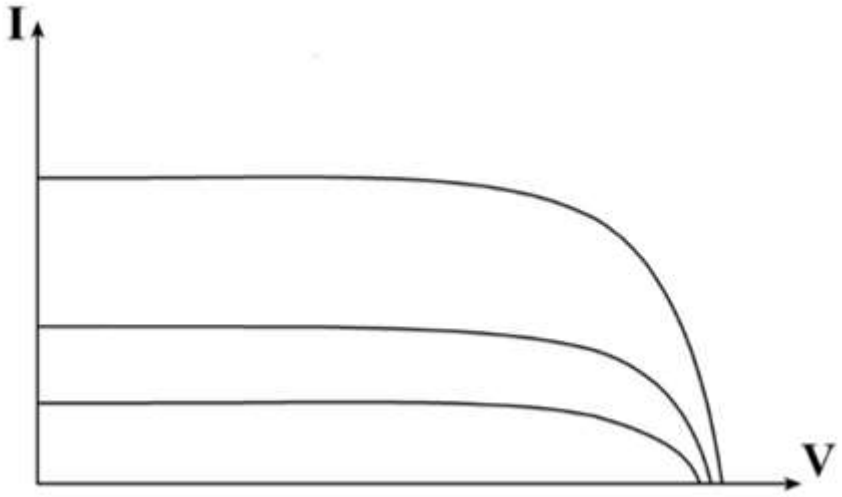


Şekil 2.4: Kuzey enleminde yaz ve kış mevsimlerine göre güneşin izlediği yol [19].

2.2.1.2 İklim veri analizi

FV modüllerin üretim performansını etkileyen iki önemli iklim faktörü bulunmaktadır. Bunlar ışınım ve sıcaklıktır.

FV modüllerin güçleri ışınım ile doğru orantılıdır. Işınım arttıkça FV modüllerin elektrik üretimi artar. Şekil 2.5'te ışınımın FV modül fiziğine olan etkisi gösterilmiştir. Ticari FV modülleri standart test koşulları altında test edilerek etiketlenmektedir. Bu test koşulları 25C^{o} sıcaklık ve 1000W/m^{2} ışınım ve 1.5 AM olarak belirtilmiştir.



Şekil 2.5: Akım-gerilim karakteristiğinin ışınım oranıyla değişimi.

Performansı ciddi şekilde etkileyen bir diğer parametre olan sıcaklığın ise her FV modül için katsayı değeri vardır. Bu katsayılar akım sıcaklık katsayısı(alfa), gerilim sıcaklık katsayısı(beta) ve güç sıcaklık katsayısı(gama) olarak bilinirler ve FV modüllerin teknik özelliklerinde belirtilen değerlerdir.

Çizelge 2.2: Bir FV modülün Akım sıcaklık katsayısı(alfa), Gerilim sıcaklık Katsayısı(beta) ve Güç sıcaklık katsayısını(gama) gösterir etiketi.

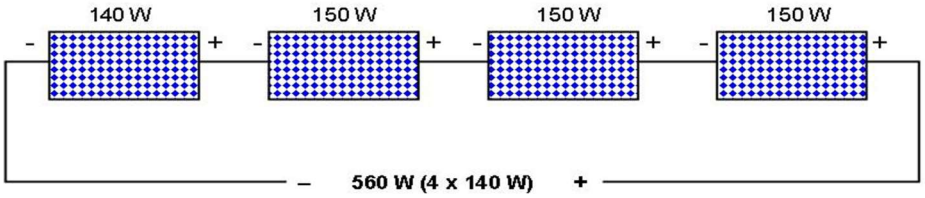
Elektriksel Değerler	
Model	PS350M-24/T
Tip	Monokristal
Nominal Güç(W)	350
Tolerans	0+-5watt
Nominal Akım(I)	9.15
Nominal Voltaj(V)	38.26
Kısa Devre Akımı(Isc)	9.71
Açık Devre Gerilimi(Voc)	47.64
Panel Verimi(%)	18.04
NOCT	45°C
Voltaj Sıcaklık Katsayısı	-0.28%/°C
Akım Sıcaklık Katsayısı	0.047%/°C
Güç Sıcaklık Katsayısı	-0.398%/°C

Çizelge 2.2'deki değerlerde görüldüğü gibi sıcaklığın akıma etkisi pozitif; fakat çok az, gerilime etkisi ise negatif ve çok fazladır. Güç = Akım x Gerilim olduğu düşünüldüğünde yukarıdaki katsayılar yerine konulduğunda sıcaklığın FV modüllere negatif etki ettiğini görebiliriz. Bunların dışında güneşlenme süreleri, bulutluluk, rüzgâr yükleri ve yağış miktarı gibi konular da analize katılmalıdır.

İklim verilerinin sistem performansına etkisini görebilmek için çeşitli iklim veri tabanları geliştirilmiştir. Bunların bir kısmı lisanslı, bir kısmı halka açıktır. NASA'nın veri tabanı ücretsiz olduğu için en yaygın olarak kullanılan veri tabanlarındandır. Bu veri tabanları sayesinde yağış miktarı, rüzgâr yükleri, ışınım değerleri, sıcaklık gibi birçok veri simülasyon çalışmasına eklenerek üretim analizi yapılabilmektedir.

2.2.1.3 Gölgelenme analizi

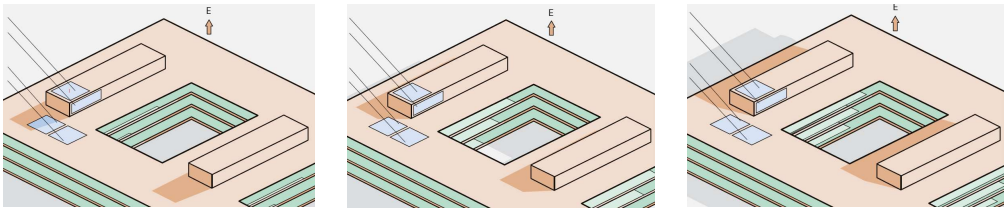
Daha önce de bahsedildiği gibi FV sistemler seri bağlı FV modüllerin birleşmesiyle oluşur. Seri bağlı sistemler her zaman aralarında bulunan en düşük güçteki FV modüle göre davranırlar.



Şekil 2.6: Seri bağlı FV modüllerde düşük gücün sisteme etkisi.

Şekil 2.6'da gösterilen seri bağlı sistemde bir tane düşük güçte FV panel olması tüm sistemin maksimum o güçte çalışmasına sebep olmuştur.

Çatı ve cepheler gölgelenme oranları yüksek olan bölgelerdir. Çatıda bulunan herhangi bir baca, beton çıkıntı, diğer binaların cepheye düşürdüğü gölgeler gibi birçok etken FV sistemin optimum performansta çalışmasını engellemektedir. Güneşin açısı her geçen gün değişmektedir. Yazları dik açıyla gelen güneş kış aylarında eğik bir açıyla yeryüzüne düşer ve bu da gölge boylarını etkilemektedir. Bu sebeple analizler yapılırken 21 Aralık gününe göre yapılmalıdır. Şekil 2.7'de bir binanın çatısında bulunan beton bir çıkıntının aynı gün içinde oluşturduğu gölgeler gösterilmiştir.



(a) (b) (c)

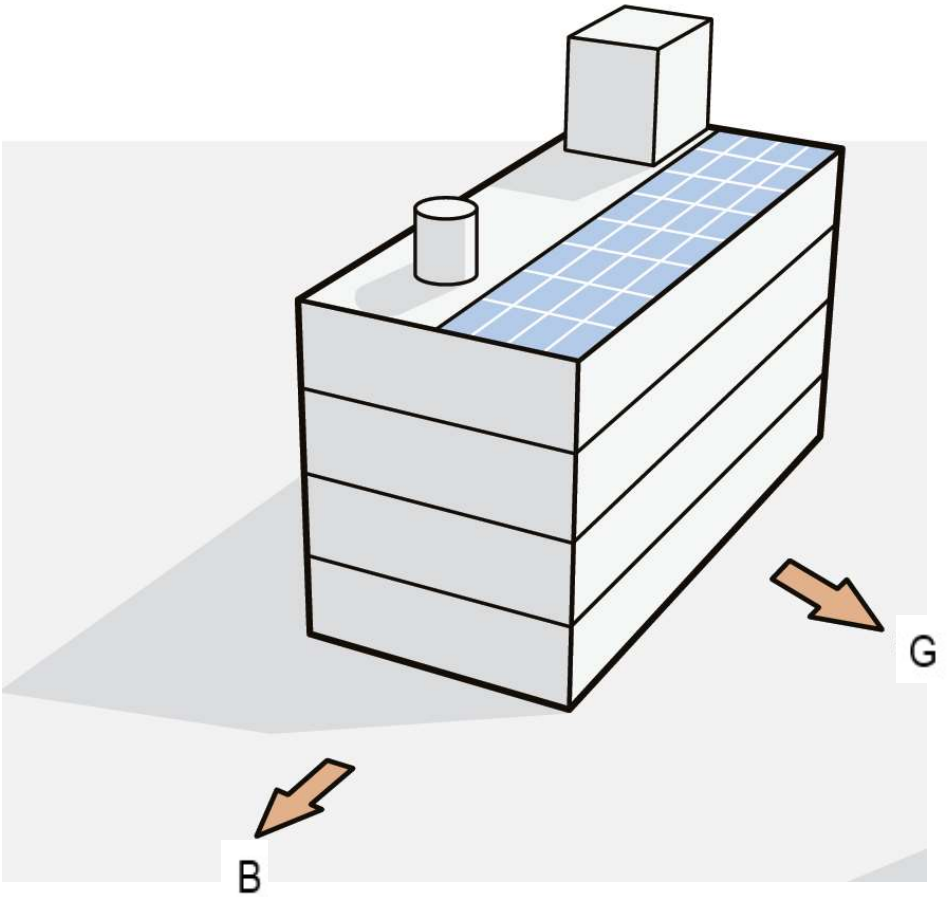
Şekil 2.7: Bir binanın çatısında bulunan beton bir çıkıntının aynı gün içinde oluşturduğu gölge: a) Saat 10:00, b) Saat 12:00, c) Saat 14:00 [19].

Binalar bir yaşam alanına yapılır veya bir yaşam alanı oluşturulmak için uygun görülen yerlere yapılır. Bu sebeple birçok binanın bir araya gelmesi ve birbirlerine gölge yapması da normaldir. Buna çözüm olarak mümkün olduğunca planlamayı FV sistemleri binanın güney cephesine koyacak şekilde ve diğer binaları da önündeki binanın kuzeyine daha yüksek katlı olarak planlamak gölgelenmeyi minimuma indirecektir.

Dikkate alınması gereken diğer bir faktör de ekim işleridir. Çevre düzeni olarak ekilen ağaçlar ileriki yıllarda cephe uygulamalarına gölge düşürebilir. Bununla alakalı olarak 1979 yılında Amerika'nın California eyaletinde Güneş Gölge Kontrol Yasası çıkarılmıştır. Yasa; komşu yapı üzerinde bir FV modülü gölgeleyen ağaçlar veya çalılar ile ilgilidir. Bu yasaya göre saat 10:00 ile 14:00 arasında gölge alanı, FV modül yüzeyinin toplam alanının %10'undan daha fazla olmamalıdır. Özetle, günışığı için güneye (kuzey yarım kürede) yönelen bir bina, pasif güneş enerjisi kazanımı ve aşırı dalgalanma içermeyen FV'ler için son derece uygundur [19].

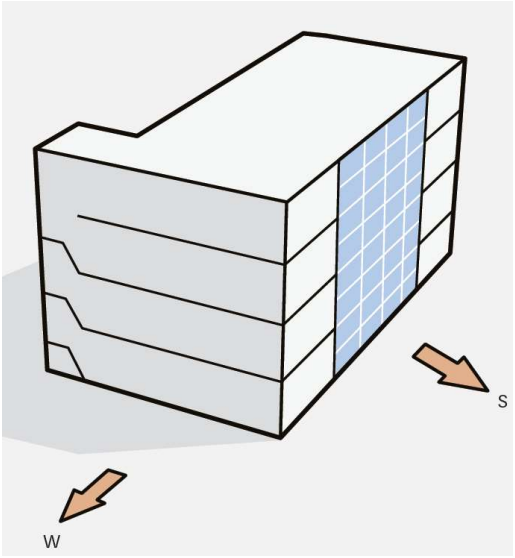
Binanın kendi komponentlerinin FV sisteme gölge düşürmemesini sağlamak için tasarım aşamasında uygulanması gereken başlıca stratejiler şunlardır [19]:

Çatıya konulması gereken potansiyel engelleri kuzey tarafa konulmalıdır (tanklar, bacalar ve havalandırma bacaları). Şekil 2.8'de gölgeye sebep olacak yapıların kuzeye konumlandırılmasının avantajları gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Gölgeye sebep olacak yapıların kuzeye konumlandırılması [19].

Cephe balkonları ve merdivenleri kuzeye yerleştirilmelidir. Şekil 2.9'da cephe, balkon ve merdiven uygulamasına bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.9: Cephe, balkon ve merdiven uygulamasına bir örnek [19].

FV cephelerde ayrı ağaçlar ve eğer mümkünse yaprak döken ağaçlar kullanılmalıdır. Bu sayede gölgelerin uzun olduğu kış ayları ağaçlar yapraksız kalır.

2.2.2 Teknoloji analizleri ve ürün seçimi

Gölgelenmeye karşı performans artırıcı birçok teknik yöntem vardır. Birçok farklı FV modül teknolojisi vardır. Bu FV modüllerin her birinin farklı özellikleri vardır. Verim değerleri potansiyeli hakkında bilgi verse de tek başına uygulama için yeterli bir bilgi değildir. Karakteristik özellikleri de hesaplamalara katılmalıdır. Örneğin; kristal teknolojisine sahip FV modüllerin verimi daha yüksek olsa da gölge altındaki performansı ince film teknolojisine sahip FV modüllere göre daha düşüktür.

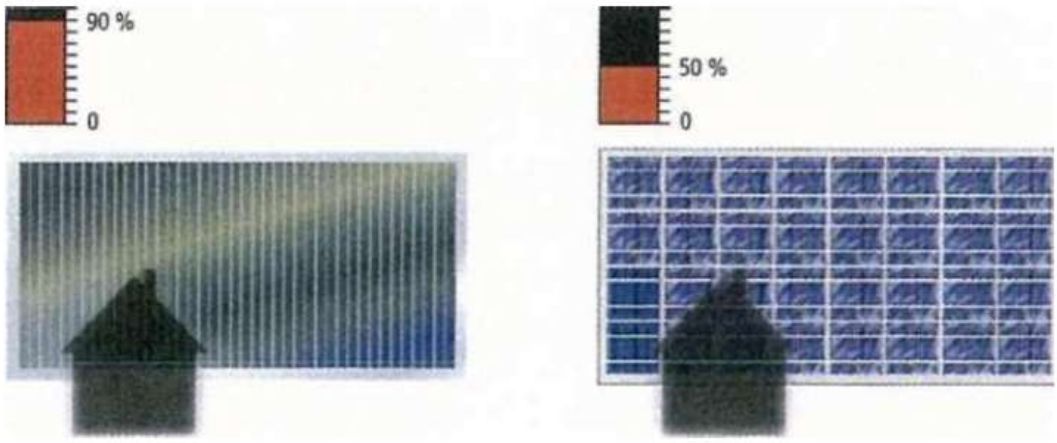
Gölgelenmeye karşı performans artırıcı yöntemler şunlardır:

İnce film teknolojisine sahip FV modüller tercih etmek. İnce film FV modüllerin silikon FV modüllere göre birçok farklılıkları vardır. Bu farklılıkların bir kısmı cephe ve çatı uygulamalarında performansı pozitif yönde etkilemektedir.

Bu özelliklerden ilki hücre boyutlarındaki esnekliktir. Silikon teknolojisine sahip FV modüller wafer boyutlarıyla kısıtlanırken (156mm x 156mm), ince film FV modüller 0.5cm-2cm arası hücrelerden oluşmaktadır. Bu durum çatıların ve cephelerin daha verimli değerlendirilmesini sağlamaktadır.

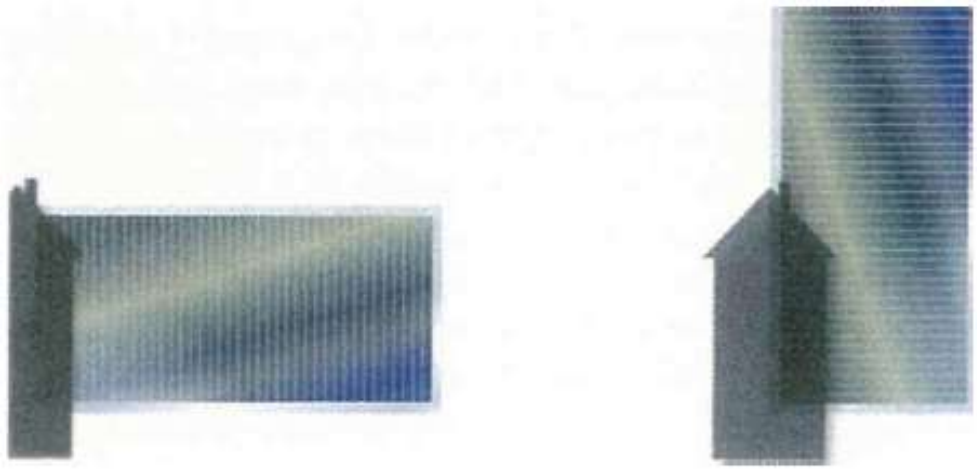
Kristal FV modüllerle karşılaştırıldığında ince film FV modüller gölgelenmeye karşı daha toleranslıdırlar. Kristal FV modüllerde seriye ait bir hücrenin bile gölgelenmesi tüm sistemi etkilemektedir demiştik. İnce film FV modüllerde sadece gölgeli kısım

etkilenmektedir. Bu da cephe ve çatı uygulamalarına daha uygun bir teknoloji olduğunu göstermektedir. Şekil 2.10'de ince film ve polikristal FV modüllerin gölgeden etkilenme oranları verilmiştir.



Şekil 2.10: İnce film ve polikristal FV modüllerin gölgeden etkilenme oranları [19].

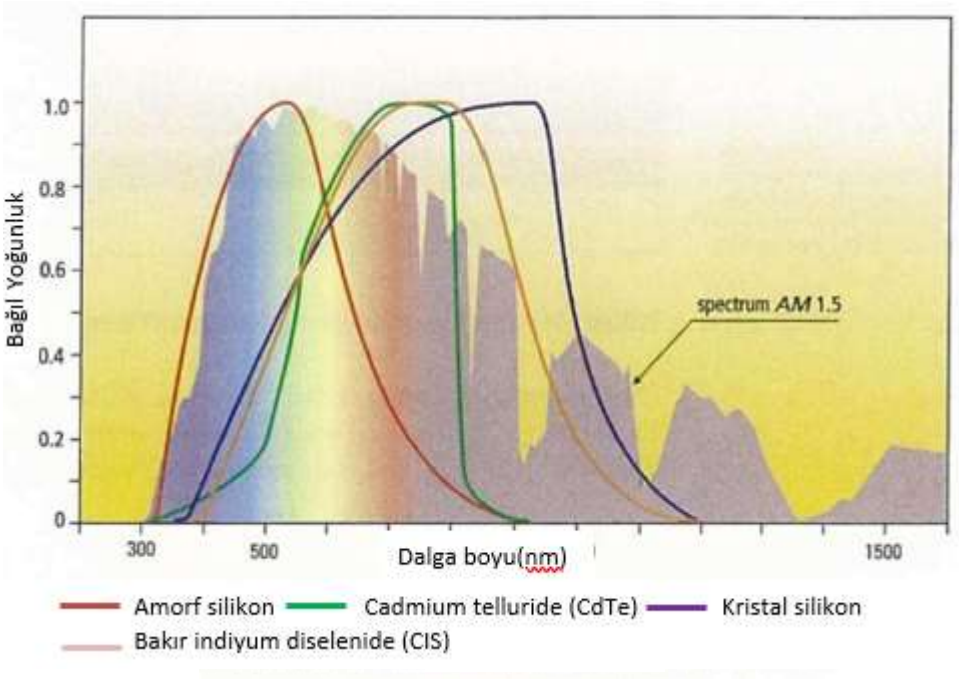
Tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da ince film FV modüllerin yerleştirilme şeklidir. FV modüller yatay değil, dikey konumlandırılmalıdır. Şekil 2.11'de sol taraftaki konumlandırma daha fazla güç kaybına sebep olmaktadır.



Şekil 2.11: İnce film FV modüllerde gölgenin etkisi [19].

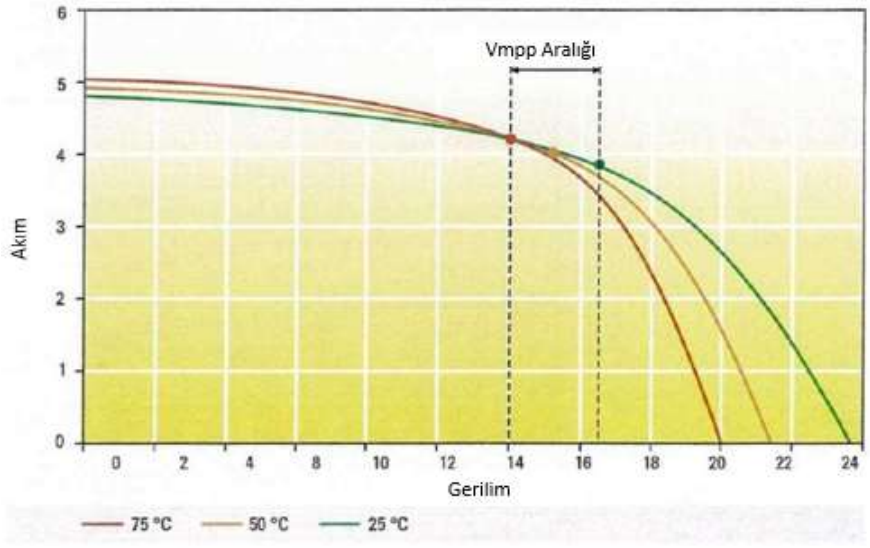
Solar hücreler teknolojilerine göre gün ışıklarının farklı renk bantlarını elektriğe çevirebilme yeteneğine sahiptirler. Spektral duyarlılık, bir hücrenin en verimli şekilde çalıştığı ve farklı ışınlama koşulları altında verimi etkilediği dalga boyu aralığını açıklar. Güneş ışığı 400nm ve 800nm arasındaki görünür ışık aralığında en büyük enerjiye sahiptir.

Şekil 2.12'de görüldüğü gibi kristal yapılı FV modüller daha büyük bir dalga boyu aralığında elektrik üretebiliyor olsa dahi, düşük dalga boylarında ince film FV modüller daha verimli çalışmaktadır.



Şekil 2.12: Spektral hassasiyet grafiği, ISET Kassel; Mulligan, 2004 [19].

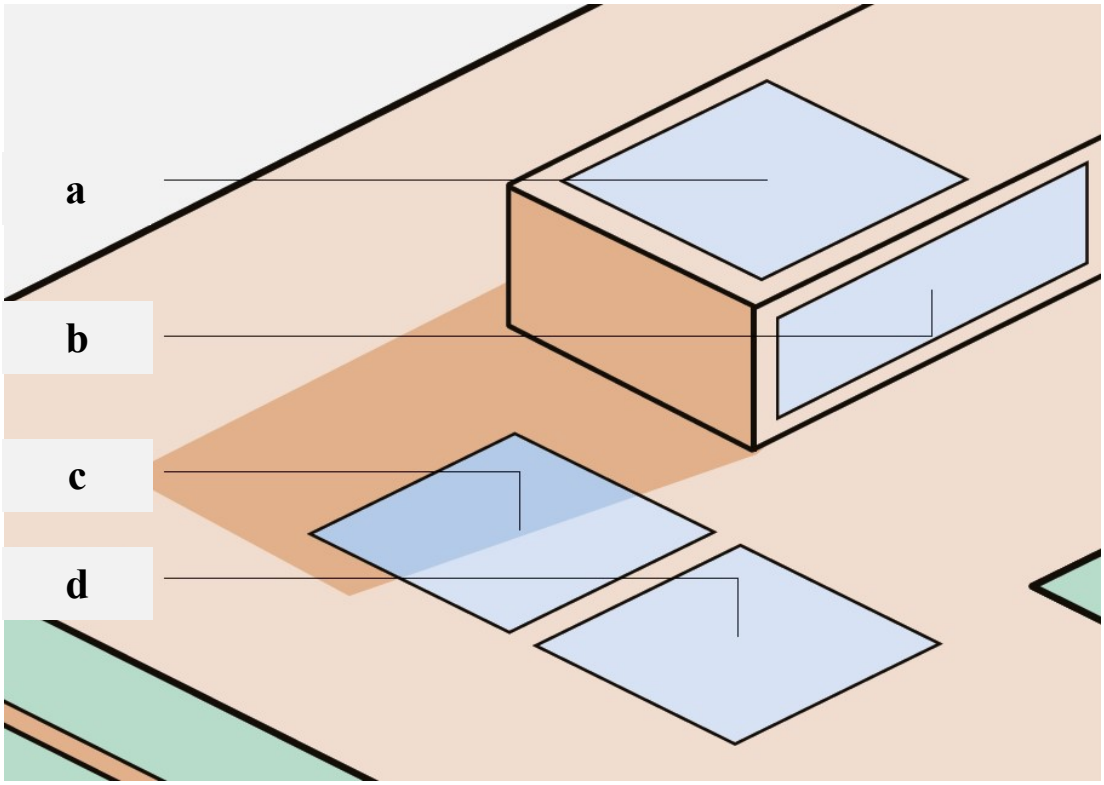
İnce film FV modüller; bant aralıklarının fazla olmasından dolayı sıcaklıktan çok fazla etkilenmez. Bu durum cephelerde ve çatılarda öngörülemeyecek sıcaklıklara karşı daha verimli bir sistem kurulmasını sağlamaktadır. Şekil 2.13'te görüldüğü gibi farklı sıcaklıklarda dahi Vmpp aralığı birbirine çok yakındır.



Şekil 2.13: Farklı sıcaklıklarda ince film FV modülün Vmpp aralık değeri [19].

Dizi evirici kullanımı ve MPPT sayısının fazla tutulması diğer performans artırıcı yöntemlerden biridir. FV modüllerin seri bağlanması hem kablo boyutlarının azalmasına hem de eviricilerin daha yüksek gerilimlerde daha verimli çalışmasına sebep olmaktadır.

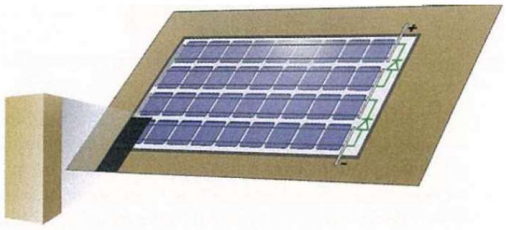
Cephe ve çatılar sadece FV sistemlere göre tasarlanmadıkları için farklı açılarda, farklı yönlere, farklı teknolojide FV modüllerin kullanımı söz konusu olmaktadır. Böyle bir durumda güç düşümlerinin önüne geçmek için FV sistemleri tasarımlarına göre ayırmak gerekir. Bu durumda her kurgulanan bölüm için ise farklı şekilde çalışacak evirici gereklidir. Bu maliyetin önüne geçmek için MPPT sayısı fazla olan dizi eviriciler tercih edilmelidir. Bu eviricilerin her MPPT'si farklı bir eviriciymiş gibi çalışmaktadır. Şekil 2.14; 4 farklı bölgeye ayrılmış FV sistemi göstermektedir.



Şekil 2.14: 4 farklı bölgeye ayrılmış FV sistem a) yatay konumlandırılmış bölüm, b) dikey konumlandırılmış bölüm, c) yatay konumlandırılmış diğer ölüm, d) Belirli zamanlarda gölgeye maruz kalan bölüm [19].

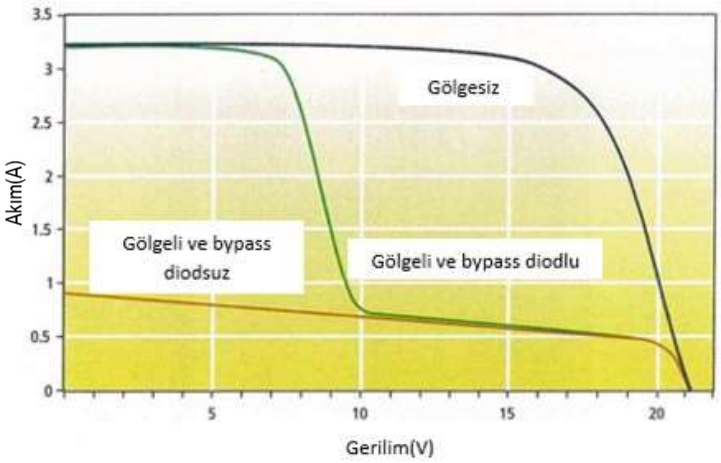
Bypass diyot sayısı ve kullanımı da performans açısından oldukça önemlidir. Bypass diyotları gölgelenme kaybını azaltmada büyük öneme sahiptir. Genelde junction box kutusunun içinde konumlandırılırlar. Bu diyotların görevi bağlı oldukları hücrelerde herhangi bir direnç etkisi oluşursa tüm FV modüle etki etmemesi adına sadece o hücreleri devre dışı bırakmaktır. Şekil 2.15; iki bypass diyotlu ve 36 hücreli bir FV

modülü göstermektedir. Görüldüğü gibi bir hücreye gölge düşmektedir. Bypass diyotu olmasaydı seri bağlı hücrelerin olduğu FV modül tümüyle düşük performans sergileyecekti; fakat diyot sayesinde FV modülün yarısı iyi performans sergileyebilmektedir.



Şekil 2.15: 2 bypass diyotlu FV modül [19].

Şekil 2.16'da yukarıdaki 2 bypass diyotlu FV modüle ait çeşitli durumlar altında oluşan elektriksel davranış sunulmuştur. Eğer bypass diyotu olmasaydı kırmızı çizgiyi takip eden bir güç eğrisi olacaktı, bypass diyotu ile yeşil çizgiyi takip eden bir güç eğrisi oluşmuş oldu. Eğer gölgelenmeye maruz kalmasaydı lacivert çizgiyi takip eden bir güç eğrisi oluşacaktı.



Şekil 2.16: Bypass diyotunun FV modüle etkisi [19].

FV modüller; günümüzde her yapıya uygulanabilmektedirler. FV sistemlerin yapıya kazandırdığı direkt enerji katkısı dışında, enerjinin kullanım sürecinde ekonomik olması da gerekmektedir. Özellikle yüksek katlı ofis binalarının ve otellerin cepheleri ile fabrika binalarının geniş ve eğimli çatıları FV modüllerin entegre olabilmeleri için en uygun yapı kabuğu örnekleridir. Ayrıca, bu tür yapıların enerji tüketimi daha çok gün boyunca olduğundan, depolama maliyetleri de diğer yapı tiplerine göre az olmaktadır. Küçük FV sistemler için konutlarda da çoğunlukla uygulanan FV sistemler

özellikle şebeke bağlantısının olmadığı yerlerde ekonomik olmakta, fakat şebeke bağlantısı olmadığı takdirde yoğunlukla akşam saatlerinde kullanılan elektriğin gün içinde depolanmasının maliyeti yüksek olmaktadır. Bu nedenlerle FV sistemlerin tasarımında yapı tiplerinin göz önünde bulundurulması önemlidir (Thomas ve diğ.1999).

Bu tasarım kriterleri dışında yapıya entegre edilecek FV modüllerin boyutlandırılabilmeleri için ilk önce yapıda kullanılan elektrikli aletler incelenmeli ve yapının toplam yıllık elektrik yükü hesaplanmalıdır. Daha sonra elektrik yüküne uygun modül tipi ve sayısı seçilmelidir. En son olarak da sisteme uygun diğer elemanların seçimi yapılmalıdır [21].

2.2.3 Montaj kriterleri

Kurulacak sistemin uzun ömürlü olması için düzgün montajlanması gerekmektedir. Bina uygulamalarında görsel estetiklik de önemli olduğu için eviricilerin ve kabloların konumlandırmasında özen gösterilmelidir. Düzgün bir montaj aynı zamanda ileriki yıllarda sistemin bakımını kolaylaştıracaktır.

2.2.3.1 FV modüllerin bağlantı elemanları ile montajı

FV modül montajının sağlam yapılması gerekmektedir. Herhangi bir bağlantı elemanının bile esnek olması FV modüllerin yerinden oynamasına, hatta ters rüzgâr altında kaldığında uçmasına neden olabilir. Bu durum can kaybına dahi yol açabilir. Montaj yapılmadan önce FV modüle ait montaj el kitabı muhakkak okunmalıdır. Ürünlerin garanti kapsamında değerlendirilebilmeleri için bu kitapçığa uygun montaj yapılması gerekmektedir. Şekil 2.17'de kötü FV montajına örnek verilmiştir.



Şekil 2.17: Kötü FV modül montajına örnek.

2.2.3.2 Kablo montajı

DC kablolamada teknik açıdan dikkat edilmesi gereken en önemli nokta manyetik alandan kaynaklı kayıpları minimumda tutacak şekilde montaj yapılmasıdır. Bunun için (+) ve (-) DC kabloların beraber taşınması gerekmektedir. Korige boru ile sehpa atlamalarında güneşten korunacak şekilde konstrüksiyon kullanılarak kablolar beraber taşınabilir.

Bir diğer dikkat edilmesi gereken konu ise düzgün etiketleme ve klipslemedir. Bu işlem; binaya entegre sistemlerde görsel zevki bozmamak ve herhangi bir teknik müdahalede zorlanmamak adına oldukça önemlidir. Şekil 2.18'de kötü kablolamaya, şekil 2.19'da ise kablo kanalı kullanımına örnek verilmiştir.



Şekil 2.18: Kötü kablolamaya bir örnek.



Şekil 2.19: Kablo kanalı kullanımı [22].

2.2.3.3 Evirici montajı

Eviriciler; belirli bir iç sıcaklık değerine ulaştıklarında koruma moduna geçerek kapanırlar. Bu sebeple konumlandırıldığı yer çok önemlidir. Aynı zamanda binaya entegre sistemlerde görselliği bozmaması için kullanım alanı olarak kullanılmayan bir bölgeye yerleştirilmeleri gerekmektedir. Bu kriterler göz önünde bulundurulduğunda hava sirkülasyonu olan bir depoda konumlandırılmaları önemlidir. Ayrıca ürünün montaj kitapçığına uygun şekilde montaj yapılması garanti kapsamını geçerli kılacaktır.

3. MEVCUT STANDARTLAR, YÖNETMELİKLER VE MEVZUATLAR

Avrupa'da, her ülkenin yapı ürünleri için kendi yasal prosedürleri vardır. 2015 yılında, AB üyesi ülkeler, EN 50583 standardında "Binalarda Fotovoltaik" başlığı adı altında ortak bir standart oluşturdular [14].

EN 50583 standardı, bugüne kadar binalarda PV konusunda dünya çapında en ileri standardizasyon çalışmasıdır. PV modüllerinin elektrik testi için standartlaştırılmış prosedürleri listelemenin yanı sıra, PV modülleri yapı ürünleri olarak kullanıldığında dikkate alınması gereken ilgili mekanik test prosedürlerinin uzun bir listesini özetlemektedir [14].

Yukarıda belirtilen BIPV standardı, istenen uygulama kategorisine bağlı olarak bir inşaat ürünü olarak kullanılan PV modülleri için dikkate alınması gereken tüm bina standartlarını listelemektedir [14].

Uluslararası düzeyde, ISO'dan (örneğin BS ISO 18178) ve IEC'den (IEC 62980) standardizasyon çalışmaları vardır. Ancak her iki standart da halen geliştiriliyor ve şu anda EN 50583'ün detay derecesine ulaşamamıştır [14].

BIPV sisteminde kullanılan güneş panelleri için oluşturulan uluslararası standartlar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1: BIPV sisteminde kullanılan güneş panelleri için oluşturulan uluslararası standartlar [13].

Standart Kodu	Kapsamı
EN 410	Cam- Yapılarda kullanılan- Cam yapı elemanlarının ışık ve güneş ışınımı ile ilgili özelliklerinin belirlenmesi
EN 356	Emniyet camları- Yapılarda kullanılan- El darbelerine karşı dayanıklılığın denenmesi ve sınıflandırılması
EN 673	Cam - Yapılarda kullanılan - Isıl geçirgenlik (U değeri) tayini - Hesaplama metodu
EN 572-1	Cam - Yapılarda kullanılan - Temel soda kireç silikat cam mamuller
EN 572-2	Cam - Yapılarda kullanılan - Temel soda kireç silikat cam mamuller
EN 572-5	Cam - Yapılarda kullanılan - Temel soda kireç silikat cam mamuller
EN 572-8	Cam - Yapılarda kullanılan - Temel soda kireç silikat cam mamuller
EN 572-9	Cam - Yapılarda kullanılan - Temel soda kireç silikat cam mamuller
EN 1748-1-1	Cam - Yapılarda kullanılan - özel temel mamuller - Borosilikat camlar
EN 1748-2-1	Cam - Yapılarda kullanılan - Özel temel mamuller - Cam seramikler

Çizelge 3.1 (devam): BIPV sisteminde kullanılan güneş panelleri için oluşturulan uluslararası standartlar [13].

Standart Kodu	Kapsamı
EN 1748-1-2	Cam - Yapılarda kullanılan - Özel temel mamuller
EN 1748-2-2	Cam - Yapılarda kullanılan - Özel temel mamuller - Cam seramikler
EN 13024-1	Cam-Yapılarda kullanılan-Termal olarak temperlenmiş borosilikat emniyet camı
EN 13024-2	Cam - Yapılarda kullanılan - Isıl olarak temperlenmiş borosilikat emniyet camı
EN 12600	Cam - Yapılarda kullanılan - Sarkaç deneyi - Düz cam için çarpma deneyi ve sınıflandırma
EN 1288-1	Cam-Yapılarda kullanılan- Eğilme mukavemetinin tayini
EN 1288-2	Cam-Yapılarda kullanılan-Eğilme mukavemetinin tayini
EN 1288-3	Cam-Yapılarda kullanılan- Eğilme mukavemetinin tayini
EN 1288-4	Cam-Yapılarda kullanılan- Eğilme mukavemetinin tayini
EN 1288-5	Cam-Yapılarda kullanılan- Eğilme mukavemetinin tayini
EN 14449	Cam - Yapılarda kullanılan - Lamine camlar ve kırılma emniyeti
ISO 3585	Borosilikat cam 3.3 - Özellikler
ISO 12543-1	Cam - Yapılarda kullanılan - Lamine cam ve lamine emniyet camı
ISO 12543-2	Cam - Yapılarda kullanılan - Lamine cam ve lamine emniyet camı
ISO 12543-3	Cam - Yapılarda kullanılan - Lamine cam ve lamine emniyet camı
ISO 12543-4	Cam - Yapılarda kullanılan - Lamine cam ve lamine emniyet camı
ISO 12543-5	Cam - Yapılarda kullanılan - Lamine cam ve lamine emniyet camı
ISO 12543-6	Cam - Yapılarda kullanılan - Lamine cam ve lamine emniyet camı

Türkiye; coğrafi konumu itibariyle Avrupa'nın en çok güneş alan ikinci ülkesidir. Bu mevcut potansiyeline rağmen bazı sebeplerden dolayı güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda henüz bekleneni karşılayamamıştır. Hangi sektörde olursa olsun bir yatırım hacmine bağlı olmaksızın finansal açıdan uygulanabilir olmalıdır. Güneş enerjisinden kendi elektriğini üretmesi beklenen son tüketici kesim için de bu durum aynıdır.

Ülkemiz için de durum 2018 yılına kadar pek de farklı değildi. Ülkemizde enerji piyasasını yönlendiren kurum Enerji Piyasası Denetleme Kurumu (EPDK)'dur. Yakın zamanda EPDK; çatı ve cepheleri kaplayacak fotovoltaik uygulamaların (BAPV) önünü açmak için son tüketiciyi teşvik edecek adımlar atmaya başladı.

Çatı mevzuatı bu adımların ilkidir. Karar tarihi 28/12/2017 ve karar numarası 7590 olan EPDK kurul kararı 18/01/2018 tarihinde resmî gazetede yayınlandı. Bu karar fotovoltaik panellerle çatı ve cephelerin kaplanması için oluşturulmuş bir mevzuattır. Amaç; Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik uyarınca, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı veya Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yetkilendirilen kurum tarafından kurulu gücü azami 10 kWm / 10 kWe (10

kW dahil) tip proje hazırlanması uygun görülen, kendi tüketim tesisinin bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücüne kadar doğrudan bağlı güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için başvuru ve ihtiyaç fazlası enerjinin değerlendirilmesine ilişkin usul ve esasların belirlenmesi, bu başvurulara istinaden sunulacak bilgi ve belgeler ile düzenlenecek Bağlantı Anlaşması Çağrı Mektubu formatının belirlenmesidir [7].

Bu mevzuat; son tüketici için yeterli olan 10kWe ve altı güneş enerjisi santral kurulumlarını diğer arazi tipi güneş enerjisi santrallerinden ayırmıştır.

Bu mevzuat ile kapasite tahsisi sorunu ortadan kalkmıştır. Şebekeye bağlanan bütün santraller için bağlantı öncesi transformatörlerdeki kapasite uygunluğu incelenir. Bu uygunluk dikkate alınarak kapasite tahsisi yapılır, çağrı mektubu verilir. Bu süreç kamu kuruluşlarıyla uzun süren yazışmaları, ciddi bir takibi ve evrak kalabalığı içerir. Bu sebeple son tüketicilerin sahip olacağı ev tipi kurulumlar için bu süreçleri yürütmek külfet olmaktadır.

İlgili mevzuat; bu sistemler için doğrudan bağlantı görüşü oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu sayede çağrı mektubu alma süreci hızlandırılmıştır.

Bu mevzuat ile; istenen evrak listesi azalmıştır. Son tüketicinin güneş enerjisi teknolojisini kullanabilmesi için beyan etmesi gereken birçok evrak bulunmaktadır. Bu evrak fazlalığı getirdiği uğraş sebebiyle son tüketicinin teknolojiyi kullanmasına engel olmaktadır. Çatı mevzuatı ile teknoloji kullanımı daha cezbedici hale getirmek amacıyla istenilen evrak listesi azaltılmıştır.

İstenilen evraklar; başvuru formu, tapu veya kira kontratı, kimlik sureti ve kimlik fotokopisi ve vekaletname ve muvafakat namedir.

Kaldırılan evraklar ise; yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'ne verilen form, aksiyon krokisi, kurulacak alanın koordinatları, tek hat şeması, kurulu gücü gösterir belge, vekil edenin imza beyanı, vekilin imza beyanıdır.

Bu mevzuat ile; aynı zamanda kamu kuruluşlarından geri dönüş süreleri kısaltılmıştır. Birçok kurumla iletişime geçmek zorunda olan son tüketiciler için kurum sayısının azaltılması kadar kurumlardan dönüşlerin hızlı şekilde yapılması da önemlidir. Bu mevzuat ile; ilgili kurumların geri dönüş süreleri kısaltılmıştır. Bu sayede daha kısa sürede sistem izinlerinin alınması ve kurulması sağlanmıştır.

Bir diğer atılan olumlu adım gelir vergisi muafiyetidir. Şebekeye bağlı her elektrik üretim tesisi gibi elektrik üretim amacıyla kurulan binaya entegre güneş enerjisi tesislerinde tüketilenden fazla üretilen elektriğin satılabilmesi yasal bir haktır. Fakat bu ticaretin yapılabilmesi için faturalama, faturalama yapılabilmesi için ise şirket kurulması gerekmektedir.

193 sayılı Gelir Vergisi Kanunun esnaf muaflığını düzenleyen 9. Maddesine 21/03/2018 tarihli ve 7103 sayılı Kanunla eklenen (9) numaralı bent ile 6446 sayılı elektrik Piyasası Kanunu uyarınca lisanssız yürütülebilecek faaliyetler kapsamında gerçek kişilerin, sahibi oldukları veya kiraladıkları konutların çatı ve/veya cephelerinde kurdukları kurulu gücü azami 10 kW'a kadar(10 kW dahil) olan bir üretim tesisinden üretilen elektrik enerjisinin ihtiyaç fazlasını son kaynak tedarik şirketine satışlarından elde edilen gelirler esnaf muaflığı kapsamına alınmıştır. Bu sayede gelir makbuzu ile vergi kesintisi olmadan şebekeye satılan elektrikten kazanç sağlanabilecek [8].

Bu sayede son tüketiciler hem kendi elektriğini üretebilecek hem de fazlasın piyasaya satarak para kazanabilecek. Kendi elektriğini üreten son tüketici aynı zamanda yatırımcı da olabileceği için bu yasa teknolojinin kullanımına ciddi şekilde teşvik etmektedir.

Olumlu atılan diğer adımlardan biri de proje onay işlem ücretlerindeki değişimdir. Elektrik üretim tesisinin gücüne bakılmaksızın proje onayı için TEDAŞ'a verilmesi gereken tutar aynıydı. Bu durum onay bedelinin düşük güçte kurulan tesislerin ilk yatırım maliyetlerinde ki oranını fazlalaştırmaktaydı ve geri dönüş sürelerini uzatmaktaydı.

TEDAŞ yetkisinde olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı çatı ve cephe uygulamalı 10kW'a (10 kW dahil) üretin tesislerinin proje onay işlemleri için herhangi bir bedel alınmaması, kabul işlemleri için 50 TL hizmet satış bedeli alınması konusunda karara varmıştır. Bu sayede Kasım 2017'de TEDAŞ proje onay harcı olan 1.490 TL ile 1.155,22 TL olan TEDAŞ kabul harcı toplamı 2.645,22TL iken 50 TL'ye inerek 1595,22 TL muafiyet sağlanmıştır [9].

İletişime geçilecek kurum sayısının azaltılması da son tüketici açısından süreci hızlandıran diğer bir adım oldu. Başvuru, proje onay, ön kabul ve geçici kabul işlemleri için TEDAŞ kurumu ile iletişimde olmak gerekiyordu. TEDAŞ'ın da Ankara'da

olması sistemi kurmak isteyen herkesin Ankara'ya gitmesi zorunluydu. 17/08/2018 tarihli düzenleme ile TEDAŞ kendisine bağlı olan EDAŞ'lara bu yetkileri vererek son tüketicinin hem masraflarının azalmasını hem de sürecin daha hızlı ilerlemesini sağlamıştır [7].

4. MEVCUT UYGULAMALARDAKİ ENGELLER

Türkiye'de BAPV uygulamalarının gelişmesini engelleyen birçok engel bulunmaktadır. Bu engeller yasal, finansal ve teknik açıdan aşağıda sınıflandırılmıştır.

4.1 Yasal ve Düzenleyici Engeller

Karmaşık ve uzun süreli lisanslama süreci/ izin prosedürleri engel teşkil etmektedir. Bölüm 4'ün 4. Maddesi bu süreci ve ilgili prosedürleri bir yere kadar azaltmayı başarmıştır.

Konut tüketicilerinin şebekeye elektrik satmalarına yönelik kısıtlamalar bulunmaktadır. Bölüm 4'ün 1. Maddesinde anlatılan mevzuat ile üretilen elektriğin fazlası şebekeye satılabilecektir.

Büyük endüstriler için yenilenebilir enerji satın alma yükümlülüklerinin olmaması kurulumu cazip hale getirmemektedir. Ayrıca gözetim sertifikalarının alınması için uzun ve karmaşık süreçtir. Fakat bu durum ülkemizdeki yerli üretici portföyünü hızla geliştirmektedir.

4.2 Finansal ve Tarife Engelleri

Bir FV santralin teoride 25 yıllık ömrü bulunmaktadır. Fakat buna karşılık devlet 10 yıllık bir satın alım garantisi vermektedir. Lisanssız santrallerde geçerli olan bu satın alım garantisi teşvik amaçlı yapılmış bir çalışmaydı. 10kW altı çatı ve cephe uygulamaları için geçerli değildir. Fakat ihtiyaç fazlası elektrik şebeke fiyatına satılabilmektedir.

Hızla değişen sistem kullanım bedelleri uzun vadelerle yapılmış uygulamalara ileriki yıllarda sıkıntı çıkarmaktadır.

Finans bulma aşamasında istenen teminat mektupları üretim tesisi kurmak isteyen tüketiciyi zorlamaktadır. Bununla ilgili çalışmalar ilgili firma ve finans kuruluşları

tarafından yapılmaktadır, fakat devlet tarafından sağlanan bir destek henüz bulunmamaktadır.

Çoğu yüklenici firma nispeten yeni olduğu için bankaların yüklenici firmalara borç vermesi için gerekli güçlü bilanço gereksinimlerini karşılayamamaktadır.

4.3 Teknik Engeller

Teknik engeller; finansal ve düzenleyici engeller kadar önemlidir. Yüklenici firmaların en büyük endişesi kalifiye teknisyen eksikliğidir. Mühendisliği ve işçiliği arazi kurulumlarına göre daha meşakkatli olan BAPV ve BIPV sistemlerde bu eksiklik kurulumların kalitesini direkt olarak düşürmektedir.

Bu sistemlere özgü herhangi bir standart bulunmaması hem kuruluma izin veren tarafta hem yatırımcı tarafında hem de yüklenici tarafında endişe yaratmaktadır.

4.4 Tavsiyeler

Analizlere göre bazı öneriler sunulmuştur. Örneğin; BAPV uygulamalar için yıllık hedeflerin oluşturulması planlama açısından faydalı olacaktır. 2026 yılına kadar 3.9GWp'lik bir kurulu ön görülmektedir. Bu projeksiyon projeye dökülmeli ve belirli periyotlarla takibi sağlanmalıdır. Eğer hedeflere yaklaşılmazsa da sebepleri araştırılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır [24].

Yatırımları yapacak kesim maaşlı çalışan son tüketiciler olduğu için düşük faizli kredilerin oluşturulması finansman açısından büyük fayda sağlayacaktır. Enerji Bakanlığı, projelere finansman sağlamak için yerel finans kurumlarıyla çalışmalıdır. Aynı zamanda uluslararası finans kuruluşlarından uzun vadeli ve düşük faizli krediler sağlayarak ülkeye yenilenebilir enerji adı altında kredi sağlamalıdır. Böyle bir önlem piyasayı canlandırmaya yardım. Anket sonuçlarının yanı sıra ankete katılanların%25'inin BAPV yatırımlarına teşvik için düşük maliyetli kredi seçeneklerini önerdiği görülmüştür. Mevcut birçok EPC firması yeni veya zayıf bilançolu firmalardır. Finansman aşamasında bu firmalara da kolaylık sağlanmalıdır [24].

Son tüketici olarak aylık veya yıllık mahsuplaşmalar geldiğinde ürettiği miktarın daha fazlasını tüketebiliyor olacağız. FV sistemlerde sadece gündüz elektrik üretilmesi akşam gerçekleşen tüketimi karşılayamamaktadır. Bu sebeple yıllık mahsuplaşma

getirilmelidir. Bu sayede gündüz üretilen elektrik, gece tüketilen elektrik için kullanılabilir.

Büyük çatı ve cephe kurulumları düşünüldüğünde sanayi sektörüne ilave teşvik mekanizmaları getirilebilir. Potansiyel pazarın %40'ını tek başına oluşturan sanayi sektörü için ek teşviklerin gelmesi BAPV uygulamalarının önünü açacaktır. Yapılan finansal çalışmalar sanayi sektörü için geri dönüş sürelerinin uzun olduğunu göstermektedir. Vergi indirimleri, tarifeye yapılacak zamlar, basitleştirilmiş prosedürler ve özel bağlantı protokollerinin oluşturulması teşvik mekanizmasına dahil olabilir [24].

Başvuru sistemini kolaylaştırmak adına tek pencere sisteminden başvurunun yapılması sağlanmalıdır. Her ne kadar başvuru aşamasındaki kurum sayısı azaltılsa da tek pencere sistemine geçiş ile internet üzerinden başvuru yapılması sağlanmalıdır. Bu başvurular için güç sınırı koyulabilir. Böylece usulsüzlüklerin de önüne geçilmiş olunur.

Son olarak; BAPV sistemler için son tüketicileri bilinçlendirmek adına rehberlik edilmesi gereklidir. Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu'nun Türkiye bölümü olan GÜNDER, halkı bilinçlendirmek adına konferanslar vermeye başlamıştır. Türkiye'nin farklı bölgelerinde BAPV uygulamalarını ve Türkiye'deki durumunu anlatan eğitimler vermektedirler.

5. BİNAYA ENTEGRE (BIPV) VE BİNAYA EKLEME (BAPV) UYGULAMALARI

BAPV uygulamaları; BIPV'den farklı olarak binalarda sadece güneş enerjisinden elektrik üretmek için kurgulanan fotovoltaik sistemlerdir. Herhangi bir yapı malzemesi özelliği taşımadan binanın elektrik ihtiyacını karşılamayı amaçladığı için mevcut teknolojiye ve binalara daha uygun bir uygulama çeşididir. Şekil 5.1'de BAPV ve BIPV uygulamaları arasındaki farkı görebilirsiniz.



Şekil 5.1: Uygulama Örnekleri: a) BAPV, b) BIPV

5.1 BIPV Uygulama Şekilleri

Binaya entegre fotovoltaik kurulumlarda elektrik üretimi için kullanılan komponentler aynı zamanda binanın yapı malzemesini de oluşturmaktadır. BIPV sistemler cephe ve çatı görevi de görmektedir. Bu sayede elektrik üretmenin yanında mevcut hava koşullarından koruma, ısı izolasyonu, ses izolasyonu, gün ışığını kullanma, gölgelenme ve güvenlik gibi birçok yapı malzemesinin sahip olduğu fonksiyonlara da sahiptir [12]. Birden çok fonksiyonu olması mühendislik süreçlerini daha da zorlaştırmaktadır. Bu sebeple mimarlarla birlikte tasarım süreçlerini yürütmek şart olacaktır.

Akash Kumar Shukla, K. Sudhakar ve Prashant Baredar'ın 2017 yılında yaptığı bir çalışmada binaya entegre güneş sistemlerinin binanın her bölümünde kullanılabileceğinden, fakat en uygun bölümün teknik açıdan çatılar olduğuna değinilmiştir. Aynı çalışmada ürün olarak ince film teknolojisinin en uygun teknoloji

olduğu ve gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel yapı malzemelerinin rafa kalkacağı belirtilmiştir [13]. Bu çalışma da kullanılan malzemelerin ve tasarımın önemini vurgulamaktadır.

BIPV'yi uygularken iki önemli olguyu aynı anda değerlendirmemiz gerekmektedir. Bunlardan ilki maliyet-fayda ilişkisidir. Bu nedenle, yapı malzemesi üreticilerinin sürece dahil olması ve uygun imalatlar gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bir diğeri ise cephelere veya çatı üstüne uygun olacak güneş panellerinin üretilmesidir. Öte yandan, güneş panellerinin, AB'deki her yapı ürününün sahip olması gereken yangın güvenliği ya da kırılma sonrası davranışlar gibi ek gereksinimlere yol açan Yapı Malzemeleri Yönetmeliğine (CPR) uyması gerekmektedir. Ayrıca, FV modüllerinin bazı temel özelliklerinin, özellikle boyutların, binanın durumuna uyarlanması gerekmektedir. Pek çok FV modül üreticisi, özelleştirilmiş boyutlara sahip PV modülleri üretmemektedir. Üreticilerin ticari faaliyetlerinden doğan karlılıklarından dolayı FV modüllerde boyut çeşitliliğine uygun üretim hatları kurmak çok uygun değildir [14].

Dünya çapında çok az firma BIPV kurulumlar üzerinde uzmanlaşmıştır. Bu firmaların bir kısmı FV modüllere yoğunlaşırken bir kısmı da yapı malzemesi özelliği katacak komponentleri üretmeye odaklanmaktadır. Günümüzde fotovoltaik teknolojisine liderlik eden kristal teknolojisi BIPV kurulumlarda da liderlik etmektedir. Kristal temelli FV teknolojilerinin yüksek verimliliğinin yanı sıra üretim süreçleri cam-cam modüllerin üretim süreçleriyle benzerlik göstermektedir. Cam-cam modüller BIPV teknolojilerinde kullanılan en yaygın ürünlerdir. Ayrıca cam esaslı yapı ürünleri için halihazırda mevcut olan standardizasyon prosedürlerinin büyük bölümleri cam-cam PV modülleri için kolaylıkla uyarlanabilir durumdadır. Bu da uygulama süreçlerini oldukça hızlandırmaktadır [14].

BIPV üreticileri için, ürünlerinin tanımlanmış uygulamalara uygunluğunu değerlendirmek için standart test prosedürlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Avrupa'da, her ülkenin yapı ürünleri için kendi yasal prosedürleri vardır. 2015 yılında, AB üyesi ülkeler, EN 50583 standardında "Binalarda Fotovoltaik" başlığı adı altında ortak bir standart oluşturdular [14].

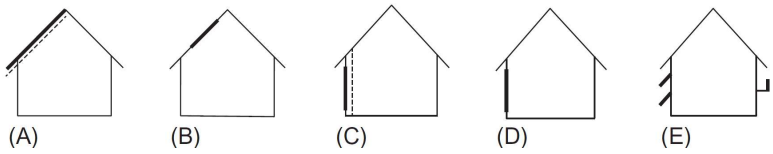
EN 50583 standardı, bugüne kadar binalarda PV konusunda dünya çapında en ileri standardizasyon çalışmasıdır. PV modüllerinin elektrik testi için standartlaştırılmış

prosedürleri listelemenin yanı sıra, PV modülleri yapı ürünleri olarak kullanıldığında dikkate alınması gereken ilgili mekanik test prosedürlerinin uzun bir listesini özetlemektedir [14].

Yukarıda belirtilen BIPV standardı, istenen uygulama kategorisine bağlı olarak bir inşaat ürünü olarak kullanılan PV modülleri için dikkate alınması gereken tüm bina standartlarını listelemektedir [14].

Uluslararası düzeyde, ISO'dan (örneğin BS ISO 18178) ve IEC'den (IEC 62980) standardizasyon çalışmaları vardır. Ancak her iki standart da halen geliştiriliyor ve şu anda EN 50583'ün detay derecesine ulaşmıyor [14].

EN 50583 standardına göre 5 çeşit BIPV uygulama yöntemi vardır. Şekil 5.2'de bunlar gösterilmiştir.



Şekil 5.2: EN 50583 standardına göre tanımlanan BIPV uygulama şekilleri: a) Eğimli, çatıya entegre, bina içinden erişilemez, b) Eğimli, çatıya entegre, bina içinden erişilebilir, c) Dikey, bina içinden erişilemez, d) Dikey, bina içinden erişilebilir, e) Bina içinde harici olarak entegre, erişilebilir veya erişilemez [14].

(A)'ya örnek olarak; California'da bulunan U.S. Batı Bölgesi Güç Yönetimi binasına yapılan çalışmayı gösterebiliriz. 1996 yılında yapılan bu çalışma binanın çatısı 40kW gücünde fotovoltaik sistemle kaplanmıştır [10]. Şekil 5.3'te binanın görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.3: U.S. batı bölgesi güç yönetimi enerji binası.

%12 verimli polikristal panel ve 6kW'lık 8 adet evirici kullanılan bu sistemden yıllık 70MWh elektrik üretmesi beklenmiştir. Projenin amacı ülkeye yenilenebilir enerji ile elektrik üretimini tanıtmak ve bunun uygun maliyette gerçekleştirilebileceğini göstermekti. Binaya entegre sistemler ile, çatı yaşamlarını uzatarak, bakım maliyetlerini azaltarak, elektrik üreterek ve binaların soğutma gereksinimlerini azaltarak daha da yaygın hale gelmesi amaçlanmıştır [10].

Kolombiya'da bir laboratuvar çatısına teknolojik gelişimin üretime katkısını araştırmak adına yapılan 6kWp'lik kurulum ilk yılında 5600kWh elektrik üretimini amaçlarken 53kWh daha fazla üreterek 5653kWhüretim gerçekleştirdi. Çalışmada ortam sıcaklığının gerilime etkisi baz alınılarak ürün seçimi gerçekleştirildi. Bu teknik analiz ile gerçekleştirilen çatı kurulumu üniversiteye 1022$/yıl tasarruf sağlattı [16].

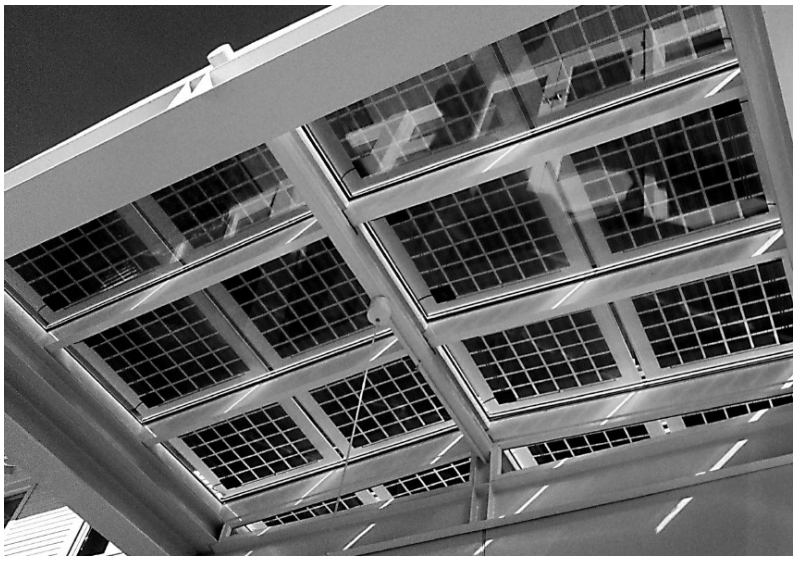
B'ye örnek olarak; California'da bulunan Presidio milli parkında yapılan çalışmayı gösterebiliriz. 1996 yılında halkı bilinçlendirmek ve bilgilendirmek amaçlı yapılan bu çalışma 1.25kWp güce sahiptir. Projede polikristal cam Fv modüller ve bir adet 4kW'lık evirici kullanılmıştır [10]. Şekil 5.4'te binanın görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.4: Presidio milli parkı çatısındaki BIPV uygulaması.

Kurgulanan sistem elektrik üretmek dışında birçok avantaj sağlamaktadır. Cam FV modüller sayesinde hem gün ışığından hem de hücreler sayesinde gölgelenmeden faydalanılmaktadır. Ayrıca FV modüller elektrik üretirken açığa çıkan ısı ile bina ısınmakta, doğal vantilasyon ile de havalandırılmaktadır. Bu çalışma BIPV

teknolojisinin birçok avantajını içermektedir [10]. Şekil 5.5'te binanın içeriden görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.5: Presidio milli parkı çatısındaki BIPV uygulamasının bina içerisinden görünüşü.

D'ye örnek olarak; New York'da bulunan 4 Times Square binasında uygulanan çalışmayı gösterebiliriz. Birçok mimarlık firmasının birlikte tasarladığı bu proje 14kWp'lik kurulu güce sahiptir. Binanın şehir içinde olması tüm cephenin FV modüllerle kaplanmasını engellese de yüksek olması 37'nci Ve 43'üncü katların arasında güney ve doğu cephelere FV modül uygulamasına olanak sağlamıştır [10]. Şekil 5.6'da binanın görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.6: 4 Times Square binası.

Bir başka çalışma olarak Kaliforniya'da bulunan Discovery Science Center; mimari açıdan estetik bir görünüme sahip olmakla birlikte yapıldığı tarihteki en büyük binaya entegre fotovoltaik teknolojiye sahipti. 50 derece eğim açısına sahip bu sistem 20kWp'lik büyüklüğe sahiptir ve yılda 30.000kWh elektrik üretmesi beklenmiştir. İnce film teknolojisi tercih edilen bu sistemde fazla üretilen elektrik şebekeye aktarılıştır [10].

E'ye örnek olarak; New York'da bulunan State University of New York binasındaki çalışmayı gösterebiliriz. 1996 yılında yapılan bu çalışma 15kWp gücündedir ve polisilikon teknolojili FV modüller kullanılmıştır. Cannon Mimarlık tarafından gerçekleştirilen proje için yıllık 19.7MWh elektrik üretmesi beklenmekteydi [10]. Şekil 5.7'de binanın görseli bulunmaktadır.

Bu sistem cepheye gölgelik olarak yapılan Amerika'daki ilk çalışmadır. Bu mimari çalışma sayesinde hem elektrik üretimi hem de güneşin içeriye nüfuzu engellenmiştir.



Şekil 5.7: State University of New York binası.

BIPV uygulamaları; teknolojik yetersizlik, teşvik mekanizmalarının iştah açmaması, altyapı yetersizliği gibi sebeplerden dolayı şimdilik niş bir pazara sahiptir. BIPV uygulamaları günümüzde ticari olarak kurulan santrallerden hem teknolojik olarak hem de mühendislik olarak çok farklıdır. Bu sebepler; BIPV'yi uygulama kolaylığı anlamında BAPV'den ayıran en büyük özelliktir [14].

Özellikle büyük bina projeleri için, inşaat firmalarının mimarlar ve elektrik mühendisleriyle beraber çalışması gerekmektedir. Tüm bina için yapılacak gölge analizleri, altyapı projeleri, tüketim analizleri, statik sonuçları gibi birçok rapor tüm ekiplerin onayından geçmelidir ki sistem hem üretici özelliğini hem de yapı malzemesi özelliğini koruyabilsin.

BIPV modülleri, inşaat sürecinde ihtiyaç duyulan tüm özellikleri taşır hale gelir gelmez, BIPV sistemleri niş pazardan standart hale getirilmiş ürüne adım atabilecektir. BIPV standartlarının geliştirilmesi ve ilgili BIPV ürünlerinin mevcudiyeti ile, bir sonraki adım, inşaat sektörü için bu BIPV ürünlerinin kullanım sunumlarını oluşturmaktır. Ne yazık ki, eş zamanlı olarak bina endüstrisinin ihtiyaçlarının ve ortak prosedürlerinin farkında olan PV araştırmacılarının sayısı oldukça sınırlıdır [14].

İnşaat ürünleri olarak, Avrupa'daki BIPV modülleri Avrupa İnşaat Ürün Yönetmeliği CPR 305/2011'de belirtilen temel ihtiyaçları karşılamalıdır. Bu telem ihtiyaçları şöyle sıralayabiliriz. Mekanik direnç ve kararlılık, yangın durumunda güvenlik, hijyen, sağlık ve çevre, kullanımda güvenlik ve erişilebilirlik, gürültüye karşı koruma, enerji ekonomisi ve ısı tutma, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı [12].

Bir BIPV modülün gerektirdiği özellikler, bina üzerinde üstlendiği işlevlere ve binanın bulunduğu yere bağlıdır. Benzer bina ürünleri, örneğin cam laminatlar, polimer bazlı su yalıtım levhaları veya ekstrüde edilmiş metal çatı kaplama levhaları için belirtilen özellikler, aynı zamanda bina içinde aynı işlevi sağlayan BIPV modüller için de belirlenmelidir [14].

Örneğin, yarı saydam bir cam-cam FV modülü, üçlü bir cam ünitesinin dış kısmı olarak kullanılacaksa, geçirgenlik ve yansıtma ölçümleri ve bu FV modülün termal yayılım özellikleri hesaba katılmalıdır, böylece ışık geçirgenliği, toplam ışınım geçirgenliği, renklendirme ve cam ünitesinin termal geçirgenliği (U değeri) hesaplanabilir. Aynı yarı saydam cam-cam PV modülü bir otobüs barınağı için tavan

üstü camın bir bileşeni ise, mekanik gücü belirtilen kar, rüzgâr ve dolu yüklerine dayanarak yerel izin gerekliliklerine uymalıdır.

FV modüller bina elemanları olarak kullanılmaya başladığında, tasarım sürecinde geçen zaman oldukça artacaktır. BIPV sisteminin elektriksel tasarımı genellikle zaman alıcı simülasyonlara ihtiyaç duyar. Bununla birlikte, BIPV, inşaat sektöründeki tek zorlu konu değildir. Bir bina projesi ne kadar büyükse, dahil olan farklı şirketlerin sayısı o kadar büyüktür ve farklı simülasyon programları uygulanır. Son on yıl boyunca, farklı simülasyon programlarının topolojik gösterim formatlarının birleştirilmesi gerektiğine dair konularda düşünce ayrılıkları oluşmuştur [14].

BIM (bina bilgi modellemesi) adı verilen çözüm ile inşaat süreci ile ilgili tüm bilgileri içeren, yazılımdan bağımsız bir veri yapısı oluşturulur. Bu bağımsız veri yapısı, ISO 16739'da kodlanmış olan IFC formatı ile halihazırda birçok ticari CAD programına dahil edilmiştir.

BIM'in genel gelişimi de BIPV uygulamaları için büyük bir fırsattır. Bu sayede BIPV ürünlerinin ilgili mekanik, elektriksel veya ekonomik özelliklerini tanımlamak için standart bir prosedürün geliştirilmesi, bunların inşaat sürecinde seçimi ve uygulanabilirliği kararı sağlanabilir.

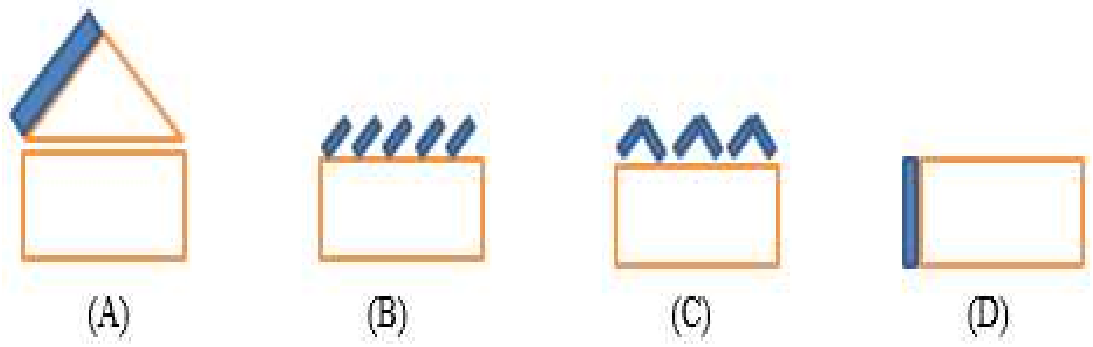
Yukarıdaki çıkarımlardan da anlaşılacağı gibi ilk olarak teknolojiyi bilen ve takip eden yetkin kişiler yetiştirilmeli ve bir standardizasyon oluşturulmalıdır. Daha sonra pilot çalışmalar ile halk bilinçlendirilmeli ve teşvik edilmelidir. İlgili kişiler; farklı yapı bileşenleri olarak davranan BIPV modüller için belirlenmesi gereken, inşaatla ilgili özellikleri detaylandıran bir standardizasyona ihtiyaç duymaktadır ve tek Standart ise EN 50583'tür. Bu standartlar tipik olarak laboratuvardaki durağan koşullar altında belirlenebilen özellikleri tanımlar. Burada örnek olarak gösterilen geçirgenlik özellikleri aslında geçerli çevresel koşullara bağlı olan dinamik miktarlar olmasına rağmen, kurulu bileşende varyasyonlarının uzun süreli izlenmesi, bir BIPV kurulumunun ürettiği elektrik miktarını belirlemekten çok daha ayrıntılı ölçüm teknolojisini gerektirir [14].

5.2 Binaya Ekleme Fotovoltaik Uygulamaları (BAPV)

Günümüz fotovoltaik teknolojisinde ticari amaçlı kullanılan komponentler BAPV uygulamaları için yeterli teknolojilerdir. 2017 yılındaki kurulu güç rakamları da bunu

kanıtlar niteliktedir. Solar Power Europe raporuna göre 2017 yılında kurulan FV sistemlerin %30'una yakınını BAPV sistemleri oluşturmaktadır [23].

Binaya ekleme FV uygulamalar; çatı ve cephe açılarına göre farklılıklar göstermektedir. Bu uygulamaların temelinde zeminin şekli önemlidir. Burada zemin çatı veya cephe olabilir. Güneş ışınımını en verimli şekilde kullanmamızı sağlayacak sistemler kurulmaya çalışılır. Zemin şekli ve yönüne göre de bu açılar değişmektedir. Şekil 5.8'de uygulama şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 5.8: BAPV uygulama şekilleri: a) Eğimli, çatıya ekleme, bina içinden erişilemez, b) Düz, çatıya ekleme, bina içinden erişilemez, c) Yatay, çatıya ekleme, bina içinden erişilemez, d) Dikey, cepheye ekleme, bina içinden erişilemez.

5.2.1 Çatılarda BAPV kullanımı

Bu tür uygulamalarda FV modüller bütün ısı ve su yalıtımları uygulanmış çatı sistemi üzerine kurulurlar. FV modüler güneşin konumuna ve binanın bulunduğu enleme göre kurulurlar.

Bu kullanımda dikkat edilmesi gereken hususları şöyle sıralayabiliriz.

Uygulama sonrasında çatının bitiş kısımlarında boşluk kalmaması için FV modül ile kaplanacak olan çatı boyutlarına uygun modül boyutu seçilmektedir.

Genellikle yalnızca çatının güneye bakan tarafı FV modüllerle kaplandığından diğer yöndeki geleneksel kaplama malzemeleriyle FV modüllerin birleşme detaylarına önem verilerek özellikle su sızdırmazlığı için özel detaylar oluşturulması gerekmektedir.

Geleneksel çatı kiremitleri ağırlıkları nedeniyle çatı strüktürüne monte edilmeden bağımsız bir şekilde durabilmektedirler. Fakat FV modüller hafif olması nedeniyle çatı strüktürüne bağlanmaları gerekmektedir.

Sıcaklığın artmasına bağlı olarak modül verimliliklerinin düşmemesi için arka yüzeylerinden havalandırılması gerekmektedir. Fakat geleneksel çatı sisteminin yalıtım elemanları bu olanağı vermemektedir.

Çatılara entegre edilecek FV çatı kaplamasının uygulanmasında elektrik tesisatının ve fiziksel olarak montesinin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir [17].

Şekil 5.8 (A), (B) ve (C) de görüldüğü gibi düz çatılar üzerinde kullanılan FV modüller çatı yapı malzemesinden bağımsızdırlar. Bu uygulamaların araziyi güneş enerjisi santrallerinden farkı yoktur. Bulundukları konuma ve öne göre maksimum verimin alınacağı eğimde ve yönde konumlandırılabilirler. En büyük performans etkileyici etken gölgelenmedir. Çatıdaki diğer komponentlerin FV modüllere gölge düşürmesi sistemin verimini düşürmektedir. Bu sistemler sökülüp tekrar takılabilen sistemlerdir. Şekil 5.9 B'ye, 5.10 C'ye ve 5.11'de A'ya örnek verilmiştir.



Şekil 5.9: Kurulum (B)'ye örnek BAPV uygulaması.



Şekil 5.10: Kurulum (C)'ye örnek BAPV uygulaması.



Şekil 5.11: Kurulum (A)'ya örnek BAPV uygulaması.

5.2.2 Cephelerde BAPV kullanımı

Bina yüzeylerinin büyük bir kısmını cepheler oluşturmaktadır. Hem görsellik açısından hem de binayı ayakta tutma açısından en önemli yapı elemanlarıdır. Cephe uygulamaları çatı uygulamalarına göre hem tasarım açısından hem de uygulama

açısından daha zordur. Bu zorluklar FV modüllerin dikey konumlandırılması ve çevre yapılardan kaynaklı gölgelenmelerden oluşmaktadır.

Bu kullanımda dikkat edilmesi gereken hususları şöyle sıralayabiliriz. FV modüllerin sisteme getireceği yük yapının tasarım aşamasındayken göz önünde bulundurulmakta ve buna uygun hesaplama yapılmalıdır. FV modüllerin verimliliğinin düşmemesi için temizlenmesi gerektiğinden tasarlanacak olan cephenin buna uygun olması gerekmektedir. Dış ortamla birebir bağlantı içinde olan FV modüllere su yalıtım uygulanması gerekmekte; bu yalıtım katmanı modülün verimini etkilememelidir. Cephe yüzeylerinde gölgelenme, çatılara oranla daha fazla olmaktadır. FV modül veriminin düşmemesi için yapının tasarımında bu durum önem arz etmektedir. Farklı modül malzemelerinin farklı avantajları vardır. Örneğin ince film hücrelerle daha büyük açıklıklar kaplanabilmekte ve modülün yapısı esnek olmaktadır. Modülün havalandırılmasının zor olduğu durumlarda ise amorf silisyum hücreler önerilmektedir. Bu gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapıya uygun malzeme seçilmektedir. Yapının görünümünü oluşturan cephelerde kullanılacak olan modül malzemeleri estetik açıdan bir bütünlük içinde olması gereklidir. Yapının imajını belirleyecek olan modüller, aynı zamanda bir yapının prestijini de yansıtmaktadır. FV paneller, uygulamada doğrudan bina düşey kabuğunu oluşturduğu gibi (giydirme cephe), geleneksel bir kabuk üzerine (yağmur perdeleme, güneş kırıcı) tespit edilerek de uygulanmaktadır [17].

5.3 Türkiye'de BIPV ve BAPV Uygulamaları

Türkiye'de 2017 sonuna kadar yaklaşık 200 MW çatı kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulumların çoğu teşvik mekanizmasından yararlanan endüstriyel çatılardan oluşmaktadır. Türkiye'de 2010 yılında başlayan teşvik 133$/megawattxsaat(MWh) ile 196$/MWh arasında değişmektedir. Bu teşvikler hem lisanslı hem de lisanssız projeler için geçerlidir. Tek fark yerli ürün kullanımı teşvikleri sadece lisanslı projeler için geçerlidir.

5.3.1 Türkiye'deki çatı kurulum öngörüsü

Çatı kurulumlarını daha yaygın hale getirebilmek için 2018 yılında 10kW ve altı çatı mevzuatı çıkarılmıştır. Bu mevzuat ile son tüketici olarak addedilen kesimin kendi elektriğini üretmesi beklenmektedir. Mevzuat kısmı bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde görebilirsiniz.

Dünya Bankası'nın Türkiye kamu yetkilileri ile birlikte çatı kurulumlarını artırmak amaçlı yaptığı çalışmada 243 sektör paydaşına ulaşılmıştır. Bu çalışmada sonucunda ortaya çıkan rakamlar şu şekildedir [24].

- Tüketicilerin %92'si çatılarının kullanılmadığını belirtti.
- Tüketici çatılarının %64'ü P tipi, %24'ü düz, %12'si ise ikisinin karışımı şeklindedir.
- Tüketicilerin %58'i iklim değişikliği endişesiyle motive olmaktadır; %51'i de elektrik faturalarından şikâyet etmektedir.
- Cevapların %38'i regülasyonları ve mevzuatları engel olarak görmektedir; %34'ü ise bilinçlendirme ve bilgi eksikliğini öne sürmektedir.
- Kurulum yapan firma yetkililerinin %50'si endüstriyel çatıları büyük potansiyel olarak görürken, %83'ü kalifiye eleman yetersizliğini engel olarak görmektedir.

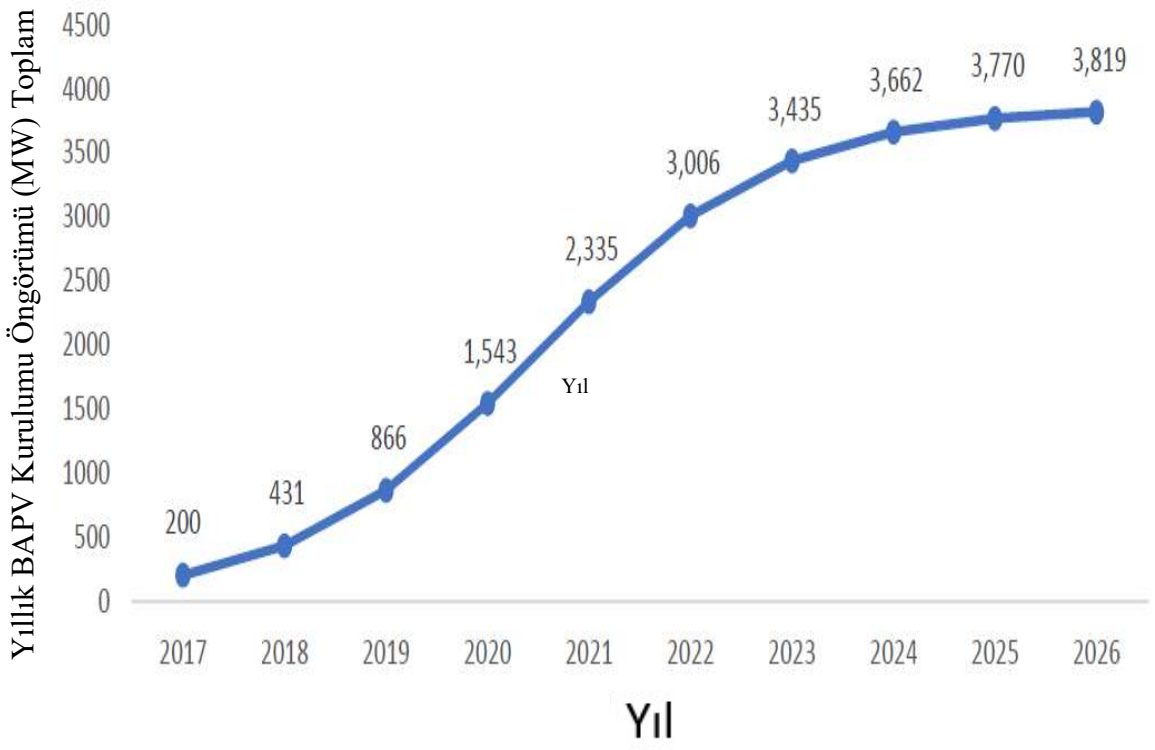
Yapılan çalışmada Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi toplamda 46.8 GW'lık teknik anlamda potansiyel kurulu güç görülmüştür. Fakat şebeke kapasitesi, gelir Çizelgesi, finans seçenekleri ve sektörün büyüklüğü düşünüldüğünde sadece 3.9 GW'lık bir potansiyel görülmektedir [24]. Çizelge 5.2'de Türkiye'deki çatı tipi FV potansiyel analizi gösterilmektedir. Şekil 5.12'de de bu potansiyelin yıllara göre artışı gösterilmektedir.

Çizelge 5.1: Türkiye BAPV teorik potansiyeli analizi [24].

Yapı Tipi	Yapı Sayısı	Alan Milyon m²	Kullanılabilir Alan %	Kullanılabilir Alan m²	BAPV Potansiyel GW
Rezidans	8230	1269	47	596	23.2
Ticari ve Endüstriyel	950	875	57	499	21.5
Kamu	69	93	45	42	2.1
Toplam	9248	2237	-	1137	46.8

Çizelge 5.2: Türkiye ÇTFV uygulama potansiyeli analizi [24].

	BAPV İçin Şebeke Kapasitesi (MW)	Gelir Seviyesi Etki Faktörü	Kredibilite Etki Faktörü	BAPV Potansiyel Kurulu Güç (MW)
Rezidans-Tek kişilik aile	764	0.5	0.8	306
Rezidans-Çok kişilik aile	2519	0.3	0.5	378
Rezidans-Toplam	3283	-	-	683
Ticari	1488	1	1	1488
Endüstriyel	1523	1	1	1523
Ticari ve Endüstriyel Toplam	3011	-	-	3011
Kamu	291	0.7	0.8	163
TOPLAM	6585	-	-	3858



Şekil 5.12: Türkiye ÇTFV kurulumu yıllık büyüme potansiyeli [24].

5.3.2 Türkiye'deki örnek fizibilite çalışmaları

Farklı tüketici sınıflarını içerecek şekilde seçilen 18 binanın finansal analizlerini yapmak için gerekli veriler toplanıldı. Bu binalar; konut, ticari, endüstriyel ve kamu binası olacak şekilde 4 sınıftan seçilmiştir. Değerlendirmedeki kilit hususlar şunlardır [24]:

- Çatının izin verdiği kadarıyla FV sistemin boyutu
- Güneş enerjisi üretimi potansiyeli
- Erişilebilirlik ve şebeke bağlantısı
- Finansman gereksinimleri
- Finansal ve ekonomik değerlendirmeler

Hindistan için yapılan ayrıntılı bir modelleme çalışmasına dayanarak, binanın sahip olduğu şebeke kapasitesinin %80'i kapasitesine sahip bir BAPV sisteminin, %1 civarında kayıplara (RSPV elektriğin kendi başına tüketilmemesi için) neden olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, öz tüketimi en üst düzeye çıkarmak amacıyla, BAPV sistem boyutunun binanın şebeke kapasitesinin %80'ini geçmemesi önerilir. Türkiye'de incelenen 18 bina için, dört finansal gösterge tahmin edilmiştir: elektrik, iç getiri oranı (hem ekonomik-EIRR hem de mali-FIRR), net bugünkü değer (NPV) ve geri ödeme zamanı. Analiz hem net ölçüm hem de 10 yıllık FIT şemalarına dayalı ekonomik göstergelere göre yapılmıştır.

Finansal ve ekonomik parametreleri belirlemek için standart bir nakit akışı metodolojisine göre excel tabanlı bir model geliştirilmiştir. Türkiye'nin mevcut piyasa koşullarına göre, faiz oranı, borç öz kaynak oranı, işletme ve bakım maliyetleri gibi tüm finansal ve ekonomik parametreler de hesaba katılmıştır. Konut, sanayi, ticaret ve kamu sektörlerine ait sonuçlar Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3; BAPV kurulu güçlerinin yapı başına miktarlarını, FIRR sonuçlarını, teşvik mekanizmasına göre yüzdelik FIRR'ları, net bugünkü değere göre fiyatların USD değerlerini, geri ödeme(amortisman) sürelerini ve kWh başına kurulumların birim maliyetlerini göstermektedir.

Çıkan sonuçlara göre; konut sektöründe, BAPV yatırımları için öngörülen finansal getiri oranları (FIRR), şebeke bazlı elektrik tarifesinden dolayı genellikle daha yüksektir. Sonuçlar, net ölçüm (veya öz tüketim) şemasını kullanan örnek projelerin, bu tüketiciler için finansal olarak çekici olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.3: Finansal analiz sonuçları [24].

Yapı	BAPV (kW)	EIRR(%)	FIRR(%)		NBD (USD)	Geri Ödeme Yıl	Birim Maliyet $/kWh
			Mahsuplaşma	FIT 10 yıl			
Rezidans							
AE1	15	21	16	15	14355	7.9	0.15
AE2	15	22	16	15	14355	7.9	0.15
Batıkent	56	40	29	28	81527	6.5	0.12
Nezih	30	25	19	18	29279	7.4	0.14
Doğa	6.5	14	8	8	1058	9.8	0.2
Endüstriyel							
Aydınlar	48	17	5	24	-5114	9.4	0.13
Turanlar	60	12	2	11	-16192	10.1	0.15
Temsa	100	12	2	11	-26284	10.1	0.15
Ticari							
IBC	4	1	Düşük	Düşük	-5547	13.2	0.26
Muyar	32	24	5	9	-2967	8.8	0.16
Batıkent	600	Yüksek	42	Yüksek	394664	6.3	0.11
Ulusoy	72	29	8	13	2081	8.3	0.15
İkizler	280	Yüksek	23	Yüksek	118803	6.9	0.12
Kamu							
DGRE	192	58	14	26	44779	7.6	0.13
Güzel	160	58	14	29	37002	7.6	0.13
EEE	160	Yüksek	22	Yüksek	73785	7	0.12
MOH	40	70	14	29	10225	7.6	0.13
Menderes	75	70	14	32	20817	7.6	0.13

Sanayi sektöründe, daha düşük endüstriyel tarife nedeniyle, tüm endüstriyel binalar için FIRR nispeten düşüktür. Bu durumlarda, 10 yıllık bir FiT planı, bu müşteriler için BAPV yatırımlarına daha iyi bir geri dönüş sağlar. Kamu ve ticari sektörler için mali ve ekonomik sonuçlar, BAPV sisteminin büyüklüğünün ve güneş kaynaklarının kullanılabilirliğinin getiri oranlarında farklılıklara neden olduğunu göstermektedir.

Hassasiyet analizleri üç parametreye dayalı olarak da gerçekleştirilmiştir: (i) bölgenin güneşlenme durumu; (ii) sermaye maliyetlerinde değişiklikler ve (iii) alternatif iş

modellerinin kullanımı. Bulgular, konut sektörü için, güneş kaynaklarında 1kWh/m2/gün azalma, FIRR'da yaklaşık%6 oranında bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Endüstriyel tüketiciler için, FIRR %10 civarında değişmiştir. Kamu ve ticari sektörler kabaca %19 oranında daha büyük bir düşüşe neden olmuştur. Kamu ve ticari tüketiciler için FIRR, konut ve endüstriyel tüketicilere göre sermaye maliyetlerine daha duyarlı çıkmıştır. İş modelleri açısından, RESCO modeli, ölçek ekonomilerinden daha düşük maliyetler nedeniyle daha yüksek getiri sağlamıştır. RESCO'daki FIRR ve öz kaynaklı iş modelleri arasındaki fark, sistem boyutu arttıkça artar [24].

6. BAPV SİSTEMLERİ İÇİN UYGULAMA METODOLOJİSİ

BAPV uygulamalarında izlenmesi gereken adımlar sırasıyla Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1: BAPV/BIPV uygulama metodolojisi.

BAPV Uygulama Metodolojisi	
Bina Analizleri	İklim veri analizleri
	Konum ve yön seçimi
	Gölgelenme analizi
	Tüketim analizi
	Standartlar
FV Tasarım Analizleri	Teknoloji ve ürün seçimi
	Uygun elektriksel tasarım
Performans Analizleri	Üretim analizi
	Mahsuplaşma analizi
	Montaj uygulamaları

6.1 Bina Analizleri

6.1.1 İklim veri analizi

Mevcut konumun güneşlenme süresi, sıcaklığı, yağış miktarı, nemi vb. iklim verileri hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Her ürünün sıcaklık ve ışınım katsayıları farklıdır. O sebeple bu analiz teknoloji ve ürün seçimine direkt olarak etki edecektir.

6.1.2 Konum ve yön seçimi

Işınım miktarı kurulacak sistemin Güneş'e olan açısına göre değişmektedir. Bu sebeple ışınımın yıl içinde en dik şekilde FV modüle vurması sağlanmalıdır. Binada

uygun bulunan alanları en optimum şekilde kullanabilmemiz için konum ve yön seçimi oldukça önemlidir.

6.1.3 Gölgelenme analizi

Konum ve yön seçimi yapıldıktan sonra gölgelenme analizinin yapılması gerekmektedir. Gölgenin üretime direkt ve sürekli olarak negatif etkisi bulunmaktadır. Bu etkisi bina uygulamalarında 0'a indirmek pek mümkün olmasa da minimum düzeyde tutulması gerekmektedir.

6.1.4 Tüketim analizi

Tüketim analizi sayesinde ihtiyacımız olan elektrik miktarını ve kurgulamamız gereken gücü belirlemiş oluruz. Bu analiz bizim mevcut maliyet kalemimizi oluşturduğu için kurulacak sistemin finansal açıdan uygun olup olmayacağını bulmamıza yardım edecektir.

6.2. Standartlar

Kurulması planlanan sistemin her aşamasının ilgili standartlara ve mevzuatlara uygun şekilde planlanması ve uygulanması gerekmektedir. Bu sebeple standartlar araştırılmalı ve ilgili maddeler uygulanmalıdır.

6.3. FV Tasarım Analizleri

6.3.1 Teknoloji ve ürün seçimi

Tüketim analizi ile kurulacak sistemin büyüklüğünü, iklim veri analizi ile iklim durumunu, konum seçimi ve gölgelenme analizi ile uygun alanı belirledikten sonra bu parametrelere en uygun teknolojinin ve ürünlerin seçilmesi gerekmektedir. Bu aşamada simülasyon çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Simülasyon neticesine göre en uygun ürünler seçilir.

6.3.2 Uygun elektriksel tasarım

Her eviricinin maksimum güç noktasına ulaşması için gerekli olan gerilim değeri farklıdır. Elektriksel tasarım burada büyük önem arz etmektedir. Sistemin yüksek verimde çalışması için en uygun tasarımın yapılması gerekmektedir. Bu bölüm için de simülasyon çalışmaları büyük önem arz etmektedir.

6.4. Performans Analizleri

6.4.1 Üretim analizi

İklim verilerine istinaden tüketim verilerini karşılayabilecek bir fotovoltaik sistemin kurgulanması için üretim analizi yapılması gerekmektedir. Bu sayede seçilen teknoloji ve ürünler ile mevcut binaya ne kadar güçte bir fotovoltaik sistem kurulacağı belirlenmiş olur.

6.4.2 Mahsuplaşma analizi

Üretim ve tüketim verilerine göre şebekeye verilecek veya şebekeden çekilecek elektrik miktarı belirlenir. Bu sayede hangi aylar elektrik faturası ödenecek, hangi aylar elektrik faturası kesilecek belirlenmiş olur.

6.5. Montaj Uygulamaları

Kurulacak sistemin uzun ömürlü olması için düzgün montajlanması gerekmektedir. Bina uygulamalarında görsel estetiklik de önemli olduğu için eviricilerin ve kabloların konumlandırmasında özen gösterilmelidir. Düzgün bir montaj aynı zamanda ileriki yıllarda sistemin bakımını kolaylaştıracaktır.

7. ÖRNEK BAPV UYGULAMASI

Örnek çalışma olarak; Manisa İli, Soma İlçesi'nde bulunan Soma Termik Santrali'ne ait lojmandaki iki katlı binalar seçilmiştir. Aşağıdaki görselde yeşil alan lojman alanını, kırmızı alan ise iki katlı binaları belirtmektedir. Her binanın güneyle yaptığı açı olduğu için bu binaların arasından da örnek bir bina seçildi. Örnek binanın Google Earth görüntüsü aşağıdadır. Şekil 7.1'de örnek ev gösterilmiştir.



Şekil 7.1: Örnek binanın Google Earth görüntüsü.

Örnek olarak seçilen 2 katlı binada 4 daire bulunmaktadır ve tüm daireler yaşam alanı olarak kullanılmaktadır. Binanın toplam kullanılabilir alanı 412m^2'dir. Her daireye ait bir balkon bulunmaktadır. Asansör bulunmayan bu binalarda çatılar üçgen tipidir.

Daha önce yapılan çalışmalarda, İTÜ Enerji Enstitüsü öğrencileri tarafından bu binaların enerji verimliliği araştırılmıştır. Aynı zamanda teorik olarak bu iyileştirmelerin elektrik tüketimine olan etkisi analiz edilmiştir. Bu çalışmada ise örnek bina özelinde güneş enerjisi ile elektrik üretimi ve buna istinaden tüketimi karşılama potansiyeli analiz edilecektir.

Bu çalışma için bölüm 6'da belirtilen adımlar uygulanacaktır.

7.1 Bina Analizleri

7.1.1 İklim veri analizi

Güneş enerjisi sektöründe kullanılmak üzere günümüzde lisanslı ve lisanssız olmak üzere birçok iklim veri seti vardır. Her bir iklim veri sağlayıcısının yöntemi birbirinden farklıdır. Daha doğru sonuçlar alabilmek için 3 farklı iklim veri setinden faydalanarak ilerleyeceğiz. Üretim analizlerinde üç veri seti ile de simülasyon gerçekleştirerek ortalamalarını alacağız. Bunlar sırasıyla Meteonorm, NASA ve PVGIS'tir.

Meteonorm; dünyada yaklaşık 1700 meteoroloji istasyonundan aldığı veriyi interpolasyon ile verilen lokasyonun ışıma değerlerini bulmaktadır. Veri kaynağı aylıktır. İstendiği takdirde sentetik olarak saatlik veri sunabilmektedir. Ücretlidir.

NASA; Uydudan alınan fotoğrafların 1×1 derecelik (111 km2) alanlar için uyarlanmış halidir. 1983-1993 arası 10 yıllık verilere sahiptir ve ücretsizdir.

PVGIS; kendi içinde "Classic" ve "SAF" olarak ikiye ayrılmaktadır. SAF veri tabanında 2 farklı uydudan alınan verileri kullanmaktadır. "Classic" veri tabanında hem uydu (Meteosat) hem de 566 adet Avrupa'nın çeşitli yerlerindeki istasyonların verisini kullanmaktadır. Ücretsizdir.

İklim Veri Setleri Sonuçları

Güneş panellerinin üretim performansının sıcaklık ve ışınımla doğrudan ilişkili olduğu iklim veri analizi başlıklı bölümde detaylıca bahsedilmiştir.

Örnek binanın bulunduğu konum için yukarıda belirtilen üç farklı veri setine göre çıkan sonuçlar aşağıda karşılaştırmalı olarak paylaşılmıştır.

Difüzif Işınım Değerleri

3 veri setinin difüzif ışınım değerleri ve ortalamaları Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1: 3 Veri setine göre difüzif ışıma değerleri.

	METEONORM (kWh/m²)	PVGIS (kWh/m²)	NASA (kWh/m²)	Ortalama (kWh/m²)
Ocak	30,90	30,70	25,40	29,00
Şubat	28,80	38,40	31,60	32,93
Mart	57,10	48,30	47,70	51,03
Nisan	78,40	63,90	59,40	67,23
Mayıs	83,10	68,40	67,60	73,03
Haziran	89,40	67,60	64,20	73,73
Temmuz	77,30	59,80	61,10	66,07
Ağustos	73,10	53,40	55,50	60,67
Eylül	60,50	44,90	45,00	50,13
Ekim	49,30	45,10	38,40	44,27
Kasım	29,20	32,10	27,00	29,43
Aralık	28,20	26,70	22,60	25,83
TOPLAM	685,30	579,30	545,50	603,37

Dikey Işınım Değerleri

3 veri setinin dikey ışınım değerleri ve ortalamaları Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2: 3 Veri setine göre dikey ışıma değerleri.

	METEONORM (kWh/m²)	PVGIS (kWh/m²)	NASA (kWh/m²)	Ortalama (kWh/m²)
Ocak	49,70	66,00	53,30	56,33
Şubat	53,10	62,10	66,60	60,60
Mart	94,40	112,60	112,50	106,50
Nisan	128,00	183,30	142,20	151,17
Mayıs	174,20	214,30	188,50	192,33
Haziran	192,10	221,00	211,80	208,30
Temmuz	209,10	248,50	221,00	226,20
Ağustos	185,20	227,30	192,20	201,57
Eylül	138,20	175,60	146,40	153,40
Ekim	91,40	106,60	95,80	97,93
Kasım	62,50	78,60	59,10	66,73
Aralık	43,80	46,90	44,00	44,90
TOPLAM	1421,70	1742,80	1533,40	1565,97

Sıcaklık Değerleri

3 veri setinin sıcaklık değerleri ve ortalamaları Çizelge 7.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.3: 3 Veri setine göre sıcaklık değerleri.

	METEONORM (°C)	PVGIS (°C)	NASA (°C)	Ortalama (°C)
Ocak	5,40	5,50	5,90	5,60
Şubat	6,20	8,80	6,00	7,00
Mart	10,00	8,80	8,60	9,13
Nisan	13,90	12,80	13,50	13,40
Mayıs	19,70	19,30	19,00	19,33
Haziran	24,60	25,00	23,50	24,37
Temmuz	28,30	24,90	25,90	26,37
Ağustos	27,60	26,50	25,70	26,60
Eylül	22,00	23,30	22,10	22,47
Ekim	17,20	17,10	17,00	17,10
Kasım	10,60	11,60	11,30	11,17
Aralık	6,80	9,30	7,20	7,77
TOPLAM	16,03	16,08	15,48	15,86

7.1.2 Konum ve yön seçimi

Çatı, iki cepheden oluşmaktadır. Batı cephelerin azimut (güneye yaptığı açı) dereceleri -90°, çatının eğimi ise 32°'dir. Doğu cephelerin azimut (güneye yaptığı açı) dereceleri +90°, çatının eğimi ise 32°'dir. Cephelerin güneş paneli için kullanılabilir alan değerleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

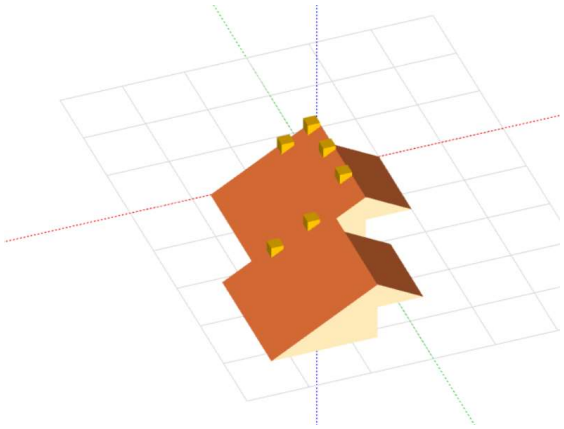
Bölüm 1(Batı): 56,1m^2

Bölüm 2(Batı): 56,1m^2

Bölüm 3(Doğu): 32m^2

Bölüm 4(Doğu): 32m^2

Yani; yaklaşık 112m^2 batı cephe, 64m^2 doğu cephe olmak üzere güneş panel kurulumuna uygun toplam 176m^2 alan bulunmaktadır. Doğu ve batı olarak ayırmamızın sebebi üretim analizlerinin bu ayrıma göre yapılacak olmasıdır. Şekil 7.2'de çatının PVSYST modellemesi gösterilmiştir.



Şekil 7.2: Çatının PVSYST programında modellemesi.

7.1.3 Gölgelenme analizi

Doğru gölgelenme hesabı yapabilmek için doğu ve batı kısımları ayrı ayrı gölgelenme analizine sokmak gerekmektedir. Çünkü Güneş'in doğuşunda batı taraf, batışında ise doğu taraf güneş alamamaktadır. Bu sebeple bütün olarak düşünülüp analiz yapıldığında doğru sonuçlar almak mümkün olmayacaktır. Bunu göstermek için hem doğu-batı şeklinde hem de bütün sistemi kapsayacak şekilde gölgelenme analizi yaparak ilerlemek daha doğru olacaktır.

Bir diğer önemli husus da her gün güneşin yeryüzüne yaptığı açının değişimidir. Yazın dik gelen ışınımlar kışın daha dar açıyla yeryüzüne düşmektedir. Bu sebeple gölgelenme analizini 21 Aralık için yapmak en iyi sonucu vermektedir. Gölgelenme analizlerimizde bu tarihi kullanacağız. Şekil 7.3'te çatının gölgelenmesi gösterilmiştir.

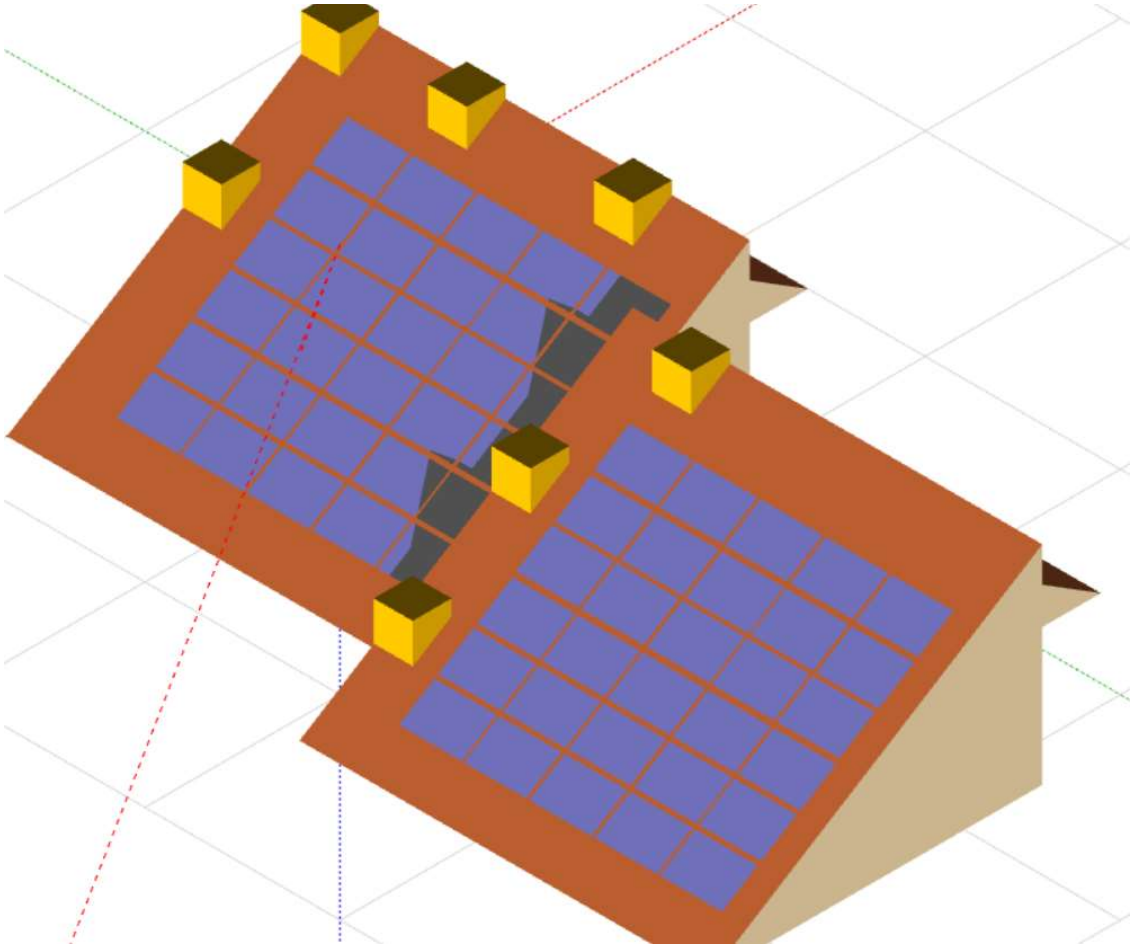
Sistemi bir bütün düşünürsek;

Gün içinde hem batı taraf hem de doğu taraf gölgelenmeye maruz kaldığı için gölgelenme değeri artmaktadır. Bu sebepten dolayı 21 Aralık'ta %20 civarında gölgelenme kaybı yaşandığı görülmektedir.

Sistemi tek olarak düşündüğümüzde yapılan analizler sonucunda en kısa gün olan 21 Aralık günü 20,3%'lük bir gölgelenme kaybı bulunmuştur.

Batı kısım;

Şekil 7.3'te çatının batı kısmının 3 boyutlu hali gösterilmektedir. Yapılan analiz sonucunda Bölüm 1 olarak adlandırdığımız kısmın, gün doğumlarında Bölüm 2'den dolayı gölge aldığı için 21 Aralık'ta %10 civarında gölgelenme kaybı yaşandığı görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda batı kısım için yapılan gölgelenme analizi sonucunda en kısa gün olan 21 Aralık günü 10,2%'lik bir gölgelenme kaybı bulunmuştur.



Şekil 7.3: Batı kısım için gölgelenme analizi (gün batımı).

En uzun gündüz olan 21 Temmuz ve en kısa gece olan 21 Aralık için saatlik üretim hesabı yaptığımızda, batı kısmın yıl boyunca en uzun güneş aldığı gün ve en kısa güneş aldığı gün için üretim değerlerini görmüş oluruz. Bu analiz bize sistemin üretim profili hakkında daha detaylı ve somut bilgi verir. Ayrıca güneş panellerinin sıcaklıktan negatif etkilendiğini söylesek de bulutlanmanın etkisini de sıcak ve soğuk günleri inceleyerek görmüş olacağız. Meteoroloji veri kaynağı olarak PVGIS kullanılmıştır. PVGIS verileri 1990 yılına göre almaktadır. Görüldüğü gibi güneşlenme süresi ve sıcaklık düşünüldüğünde ortaya çıkan sonuçlar teknik gerçekliği vermemektedir. Buna

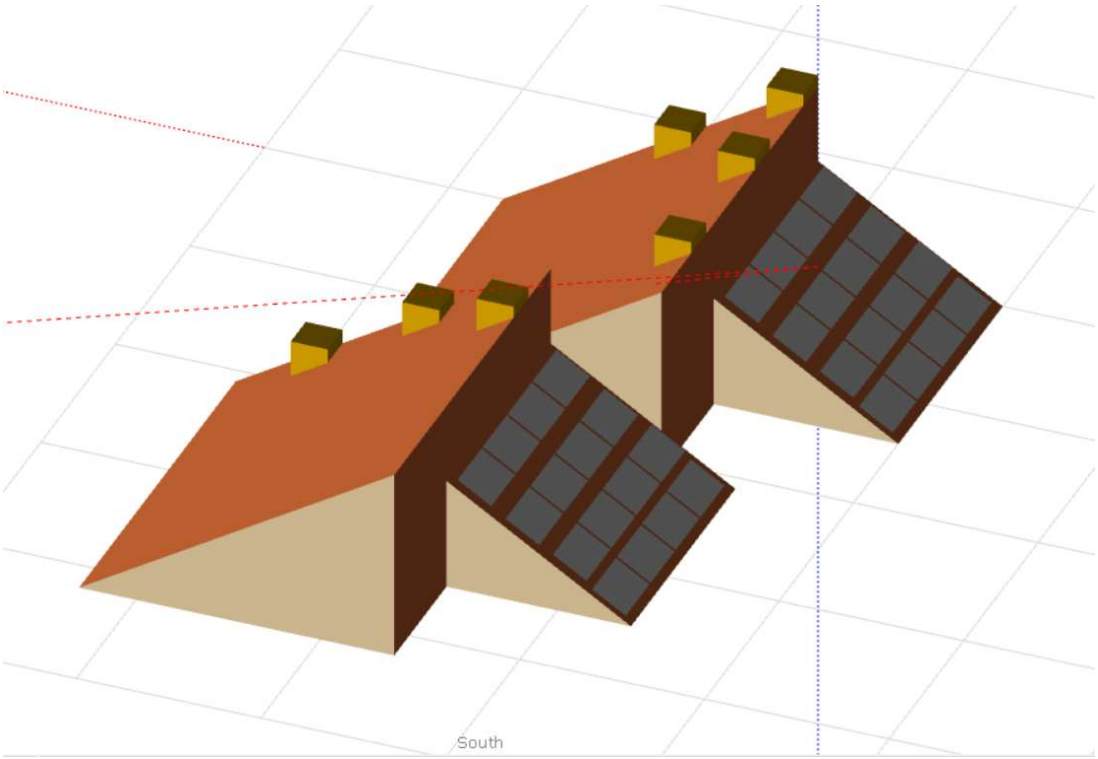
sebep olan şey ise bulutluluk oranıdır. Çizelge 7.4'te bazı özel günler için üretim değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 7.4: Batı kısım için üretim analizleri.

	En Uzun Gündüz (21 Temmuz)	En Kısa Gündüz (21 Aralık)	En Soğuk Gün (6 Ocak)	En Sıcak Gün (24 Temmuz)
01:00	-	-	-	-
02:00	-	-	-	-
03:00	-	-	-	-
04:00	-	-	-	-
05:00	-	-	-	-
06:00	0,20	-	-	0,37
07:00	1,27	-	-	1,17
08:00	2,24	-	-	1,51
09:00	2,88	0,88	0,93	2,86
10:00	5,76	1,43	1,40	8,99
11:00	8,61	2,36	1,28	15,12
12:00	10,75	4,45	2,66	20,18
13:00	13,05	6,09	1,91	24,21
14:00	14,69	7,97	5,80	25,61
15:00	14,95	8,34	3,92	24,21
16:00	13,84	6,78	2,44	19,72
17:00	11,82	-	-	16,44
18:00	8,96	-	-	12,72
19:00	4,87	-	-	7,57
20:00	-	-	-	-
21:00	-	-	-	-
22:00	-	-	-	-
23:00	-	-	-	-
00:00	-	-	-	-
Toplam	113,89	38,29	20,33	180,68

Doğu kısım;

Yapılan analiz sonucunda Bölüm 3 ve Bölüm 4 olarak adlandırılan doğu tarafında batıya göre bir rakım farkı olduğu için öğleden sonra güneş panelleri gölge almaktadır. Bu sebeple 21 Aralık'ta %4 civarında bir gölgelenme kaybı yaşandığı görülmektedir. Şekil 7.4'te doğu kısım için gün batımı gölge durumu gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda doğu kısım için yapılan gölgelenme analizi sonucunda en kısa gün olan 21 Aralık günü 3,8%'lik bir gölgelenme kaybı bulunmuştur.



Şekil 7.4: Doğu kısım için gölgelenme analizi (gün batımı).

En uzun gündüz olan 21 Temmuz ve en kısa gece olan 21 Aralık için saatlik üretim hesabı yaptığımızda, doğu kısmın yıl boyunca en uzun güneş aldığı gün ve en kısa güneş aldığı gün için üretim değerlerini görmüş oluruz. Bu analiz bize sistemin üretim profili hakkında daha detaylı ve somut bilgi verir. Ayrıca güneş panellerinin sıcaklıktan negatif etkilendiğini söylesek de bulutlanmanın etkisini de sıcak ve soğuk günleri inceleyerek görmüş olacağız. Meteoroloji veri kaynağı olarak PVGIS kullanılmıştır. PVGIS verileri 1990 yılına göre almaktadır. Görüldüğü gibi güneşlenme süresi ve sıcaklık düşünüldüğünde ortaya çıkan sonuçlar teknik gerçekliği

vermemektedir. Buna sebep olan şey ise bulutluluk oranıdır. Çizelge 7.5'te bazı özel günler için üretim değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 7.5: Doğu kısım için üretim analizleri.

	En Uzun Gündüz (21 Temmuz)	En Kısa Gündüz (21 Aralık)	En Soğuk Gün (6 Ocak)	En Sıcak Gün (24 Temmuz)
01:00	-	-	-	-
02:00	-	-	-	-
03:00	-	-	-	-
04:00	-	-	-	-
05:00	-	-	-	-
06:00	0,09	-	-	0,06
07:00	3,07	-	-	4,65
08:00	4,65	-	-	6,82
09:00	6,54	2,57	1,58	7,98
10:00	7,26	3,38	0,72	8,52
11:00	7,19	4,09	0,60	8,48
12:00	6,82	3,46	1,41	7,99
13:00	6,44	2,66	0,94	7,08
14:00	4,93	1,20	1,77	5,05
15:00	2,97	0,39	1,17	2,83
16:00	1,34	0,37	0,69	0,87
17:00	0,82	0,05	-	0,44
18:00	0,72	-	-	0,45
19:00	0,34	-	-	0,26
20:00	-	-	-	-
21:00	-	-	-	-
22:00	-	-	-	-
23:00	-	-	-	-
00:00	-	-	-	-
Toplam	53,18	18,15	8,87	61,47

Gölgelenme analizleri incelendiğinde çatı uygulamaları için kabul edilen oranlara göre oldukça güzel değerler çıkmaktadır. Çatıdaki bacaların konumu ve başka engellerin olmayışı gölge kayıplarını düşük değerlerde tutmaktadır.

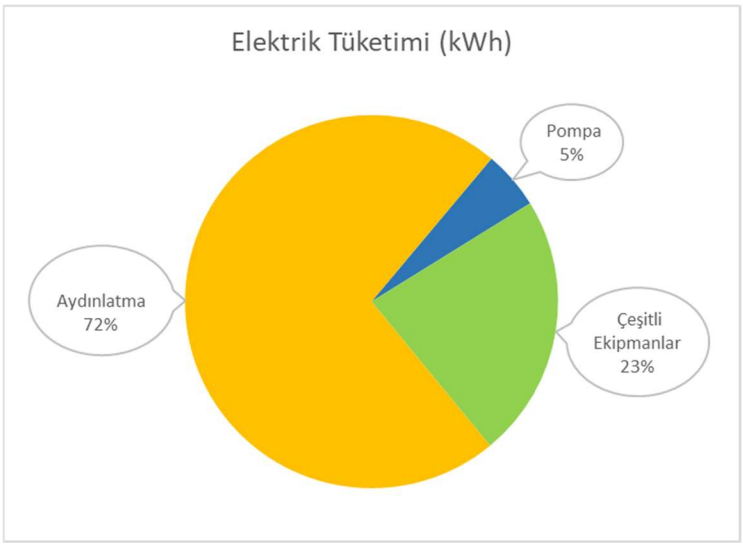
7.1.4 Tüketim analizi

Binanın tüketim değerleri İTÜ Enerji Enstitüsü'nün yaptığı çalışmalardan alınmıştır. Binaların yıllık enerji tüketim değerleri aşağıdaki gibidir.

Elektrik tüketimi üç ana başlıkta gerçekleşmektedir. Pompalar; ısıtma sisteminde sıcak suyun pompalanması için kullanılan cihazları belirtmektedir. Çeşitli ekipmanlar; binadaki priz yüklerini temsil etmektedir. Bu yüklere buzdolabı, fırın, ocak, bulaşık makinası, su ısıtıcısı, televizyon, çamaşır makinası gibi cihazlar girmektedir. Aydınlatma ise binada kullanılan aydınlatma cihazlarının tükettiği enerji miktarını göstermektedir. Çizelge 7.6'da binanın toplam elektrik tüketiminin kırılımları gösterilmiştir. Şekil 7.5'te ise binanın elektrik tüketim değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 7.6: Örnek binanın aylık bazda yıllık elektrik tüketim Çizelgesi.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Pompa	90	80	90	80	90	80	90	80	90	90	80	90	1,030
Çeşitli Ekipmanlar	400	360	390	390	390	380	400	390	390	400	370	400	4,660
Aydınlatma	1,250	1,130	1,240	1,210	1,250	1,200	1,250	1,240	1,210	1,250	1,200	1,250	14,680
Toplam	1,740	1,570	1,720	1,680	1,730	1,660	1,740	1,710	1,690	1,740	1,650	1,740	20,370

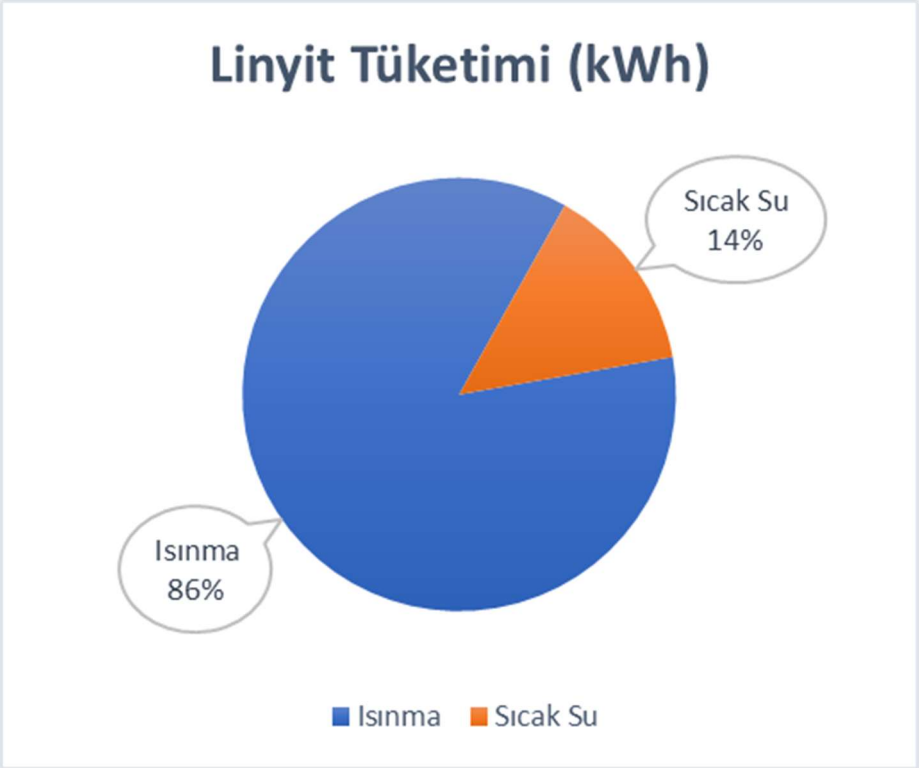


Şekil 7.5: Örnek binanın elektrik tüketim değerlendirmesi.

Yakıt tüketimi; suyun ve dairelerin ısıtılması için kullanılmaktadır. Çizelge 7.7'de binanın ısıtılması için gerekli elektrik tüketiminin kırılımları gösterilmiştir. Şekil 7.6'da ise binanın ısınması için gerekli elektrik tüketim değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 7.7: Örnek binanın aylık bazda yıllık yakıt tüketim Çizelgesi.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Isınma	14,633	10,797	8,484	4,540	2,629	1,158	771	765	774	2,011	6,870	10,855	64,285
Sıcak Su	973	903	999	955	929	841	821	788	765	821	838	923	10,556
Toplam	15,606	11,699	9,484	5,495	3,558	1,999	1,591	1,553	1,539	2,831	7,708	11,779	74,842



Şekil 7.6: Örnek binanın yakıt tüketim değerlendirmesi.

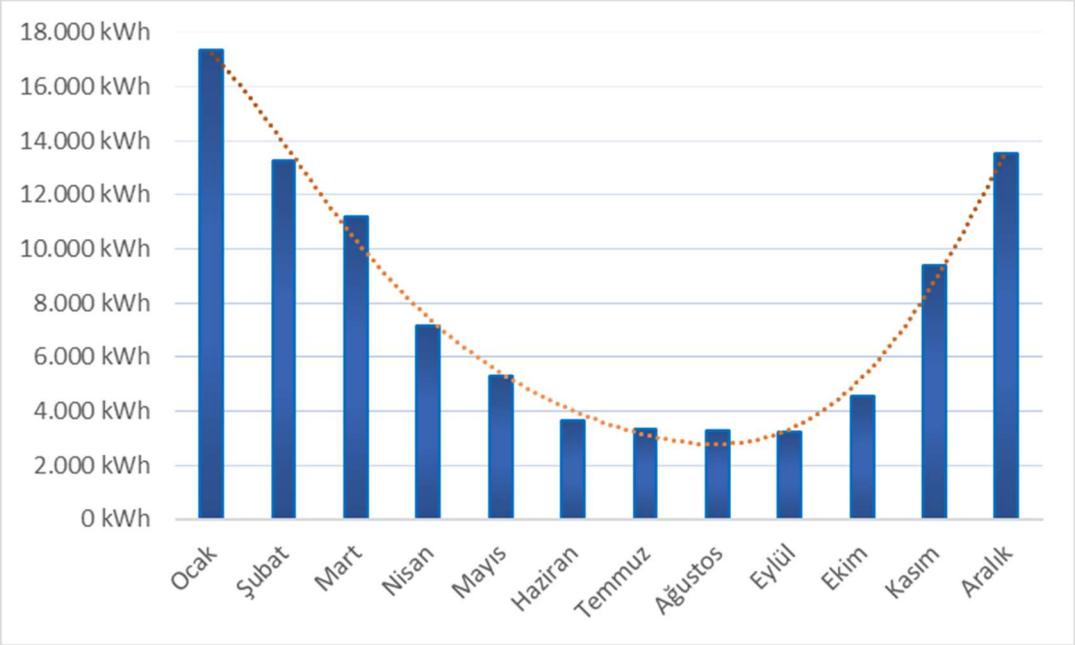
Görüldüğü üzere; binanın yıllık enerji tüketimi 95.211kWh'tir ve bunun %60'i ısıtma ihtiyacı için kullanılmaktadır.

Binanın aylık bazda tüm enerji ihtiyacı ise aşağıdaki gibidir. Çalışmada bu tüketim değerleri baz alınacaktır. Çizelge 7.8'de örnek binanın aylık bazda yıllık enerji tüketim Çizelgesi oluşturulmuştur.

Çizelge 7.8: Örnek binanın aylık bazda yıllık enerji tüketim Çizelgesi.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Elektrik	1.740	1.570	1.720	1.680	1.730	1.660	1.740	1.710	1.690	1.740	1.650	1.740	20.370
Linyit	15.606	11.699	9.484	5.495	3.558	1.999	1.591	1.553	1.539	2.831	7.708	11.779	74.842
Toplam	17.346	13.269	11.204	7.175	5.288	3.659	3.331	3.263	3.229	4.571	9.358	13.519	95.212

Tüketim profili incelendiğinde kış aylarındaki enerji tüketimi yaz aylarına göre oldukça fazladır. Bu durum üretim analizlerinde ayrı bir özen gösterilmesi gerektiğini bize ifade etmektedir. Çünkü güneşlenme saatleri kışın ve yazın farklılık göstermektedir. Çalışmalarda kışınki tüketimler baz alınarak ilerlenmelidir. Şekil 7.7'de örnek binanın aylık bazda enerji tüketim karşılaştırması ve trend çizgisi gösterilmiştir.



Şekil 7.7: Örnek binanın aylık bazda enerji tüketim karşılaştırması ve trend çizgisi.

7.2. Standartlar ve Mevzuatlar

Türkiye'de 10 kWe altı çatı mevzuatı bulunmaktadır. Bizim kurduğumuz fotovoltaik sistem bu mevzuattan faydalanmaktadır. Kurulum aşamasında uyulması gereken bir standart ülkemizde bulunmamaktadır, fakat sistemin uzun ömürlü olması için montaj işlemleri özenle yapılmalıdır.

7.3. FV Tasarım Analizleri

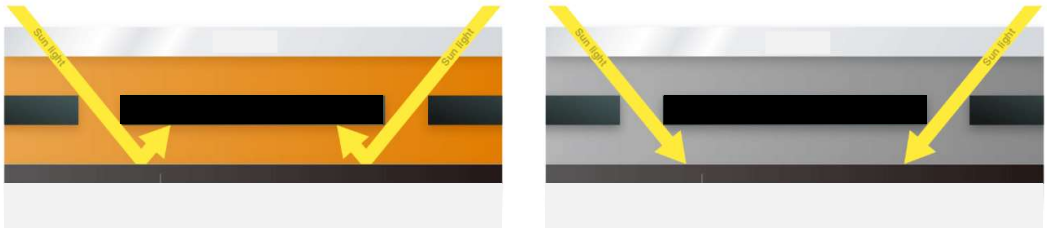
7.3.1 Teknoloji ve ürün seçimi

Elektriği üretmemizi ve şebekeye iletebilmemizi sağlayan iki önemli ürün olan güneş paneli ve eviricilerin seçim kriterleri her uygulamada farklılık göstermektedir. Bu uygulamada dikkat etmemiz gereken hususlar bu iki ürün grubu için aşağıdaki gibi olacaktır.

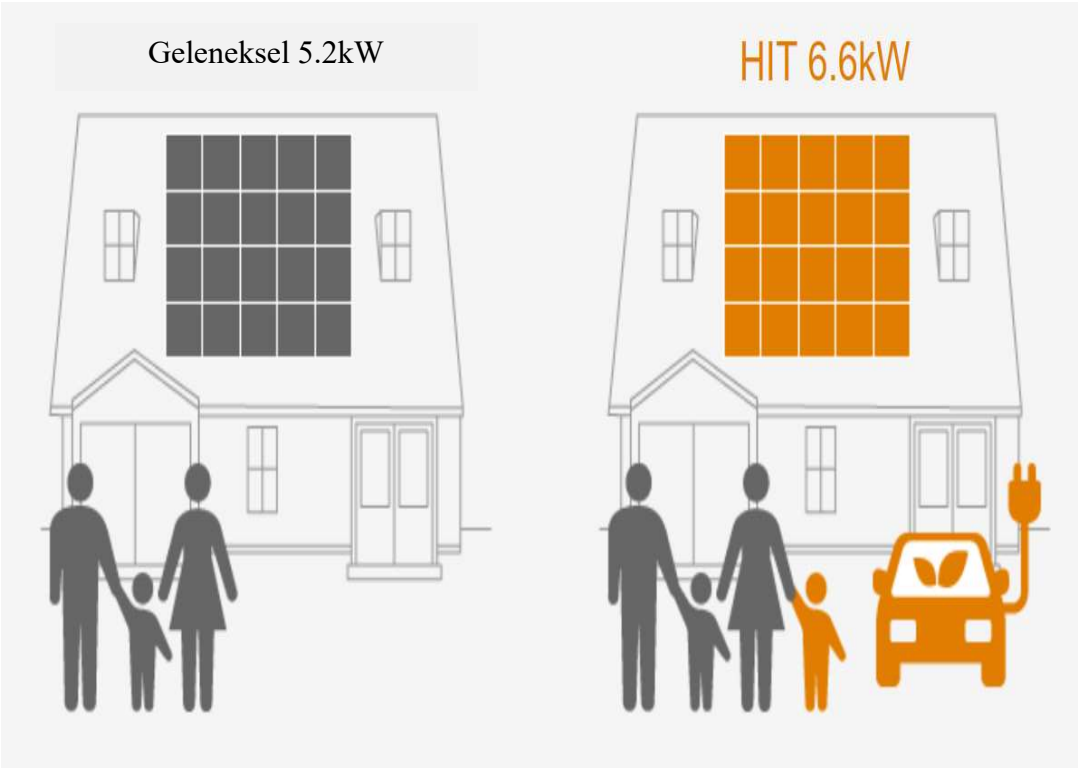
Panel Teknolojisi

Çatı uygulamalarında hava boşluklarının az olması panellerin sıcaklığını hızlı bir şekilde artırdığı için sıcaklığa dayanıklı güneş panelleri seçilmelidir. Bu da bize akım sıcaklık katsayısının düşük olduğu panel gruplarına götürmektedir. Bir diğer husus ise verimli hücrelerden oluşan güneş panellerinin kullanılmasıdır. Bu sayede daha fazla kapasiteye sahip üretim tesisi kurulu sağlanmış olacaktır.

Bu kriterlere bakarak yaptığımız seçim sonucunda heterojunction (elektron kaybını önleyen amorf katman) yapıya ve bifacial hücreye sahip HIT güneş panelleri kullanılacaktır. Panellerin farkı şekil 7.8'de görselleştirilmiştir. Bu sayede yansıyan ışınımları da üretim aşamasında kullanmış olacağız. Şekil 7.19'da konvansiyonel panellerle karşılaştırılması yapılmıştır.



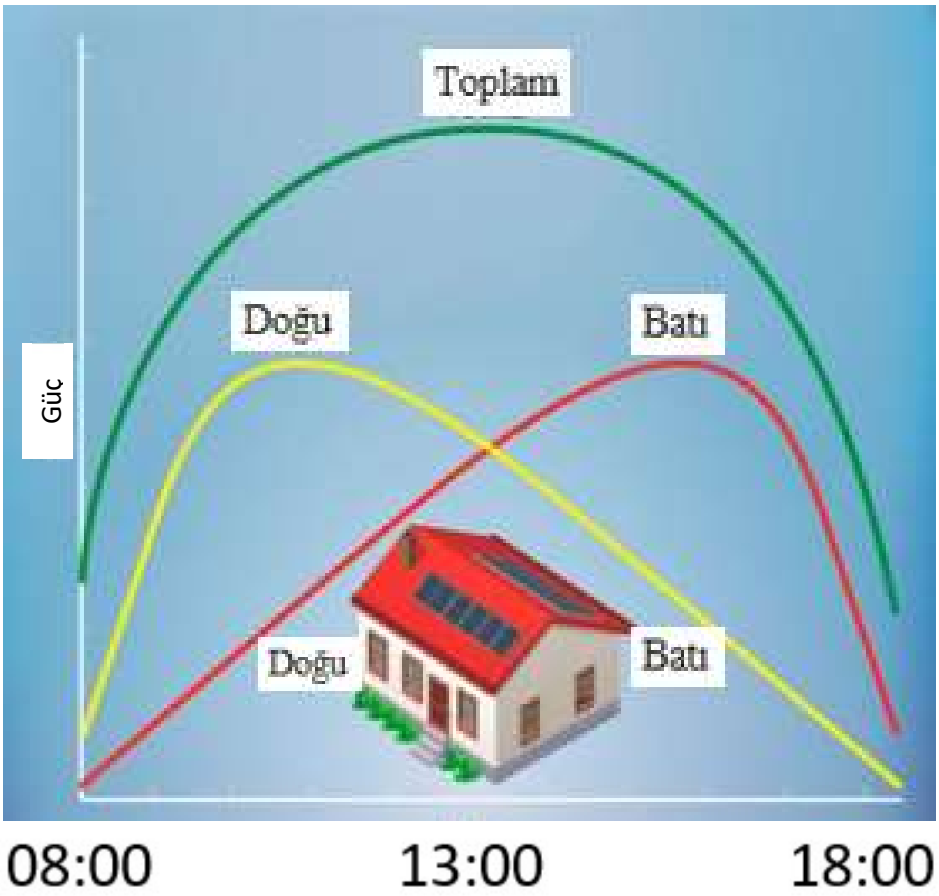
Şekil 7.8: HIT güneş paneli farkı (soldaki HIT).



Şekil 7.9: HIT güneş panelleri güç kapasitesi karşılaştırması.

Evirici Teknolojisi

Örnek projemiz doğu ve batı olmak üzere iki kısımdan oluştuğu için bu kısımları tek MPPT'ye sahip eviriciye bağlamak yanlış olacaktır. Bu sebeple en az 2 MPPT'ye sahip eviriciler tercih edilmesi gerekmektedir. Bu sayede doğu ve batı kısımları farklı MPPT'lere bağlayarak kayıpların önüne geçilecektir. Şekil 7.10; bu durumu özetlemektedir.



Şekil 7.10: Çatı kurulumlarında MPPT kullanımının avantajı.

7.3.2 Uygun elektriksel tasarım

4 bölüme ayırdığımız örnek çatıda her bir bölümün sahip olduğu panel sayısı aşağıdaki gibidir. Bu tasarım binada 3 adet 10 kW'lık tüketim sayacı olduğu düşünülerekten oluşturulmuştur.

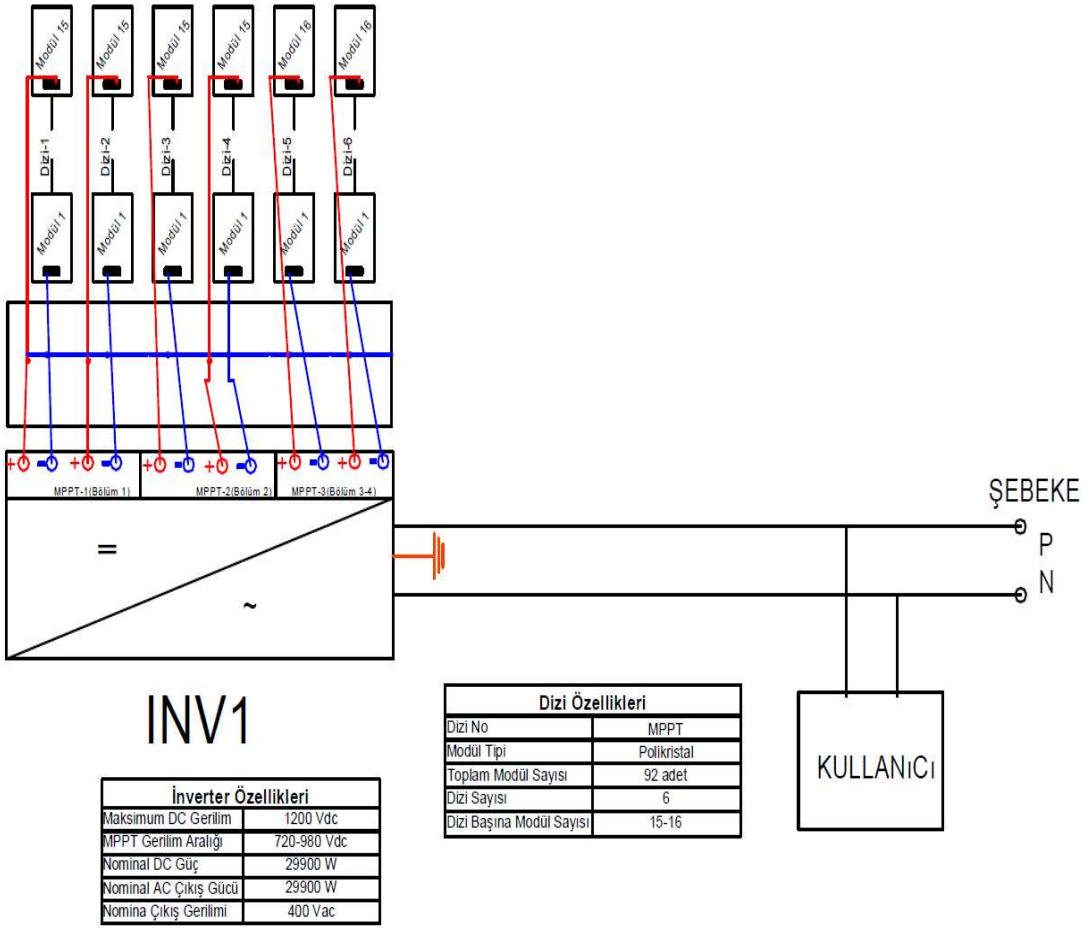
Bölüm 1(Batı): 30 adet 325W HIT güneş paneli

Bölüm 2(Batı): 30 adet 325W HIT güneş paneli

Bölüm 3(Doğu): 16 adet 325W HIT güneş paneli

Bölüm 4(Doğu): 16 adet 325W HIT güneş paneli

Paneller yerleştirilirken gölgelenme analizinde çatıda bir engel olmadığı için çatı kenarlarında bırakılan 40-50 cm paylar sonrasında kalan tüm kısma panel yerleştirilerek ilerlenmiştir. Elektriksel tasarımın tek hat şeması şekil 7.11'de sunulmuştur. 3 MPPT'den oluşan eviricinin 1 MPPT'si Bölüm 1, 1 MPPT'si Bölüm 2 ve kalan diğer MPPT ise Bölüm 3 ve 4 için kullanılmıştır.



Şekil 7.11: Tek hat şeması.

7.4. Performans Analizi

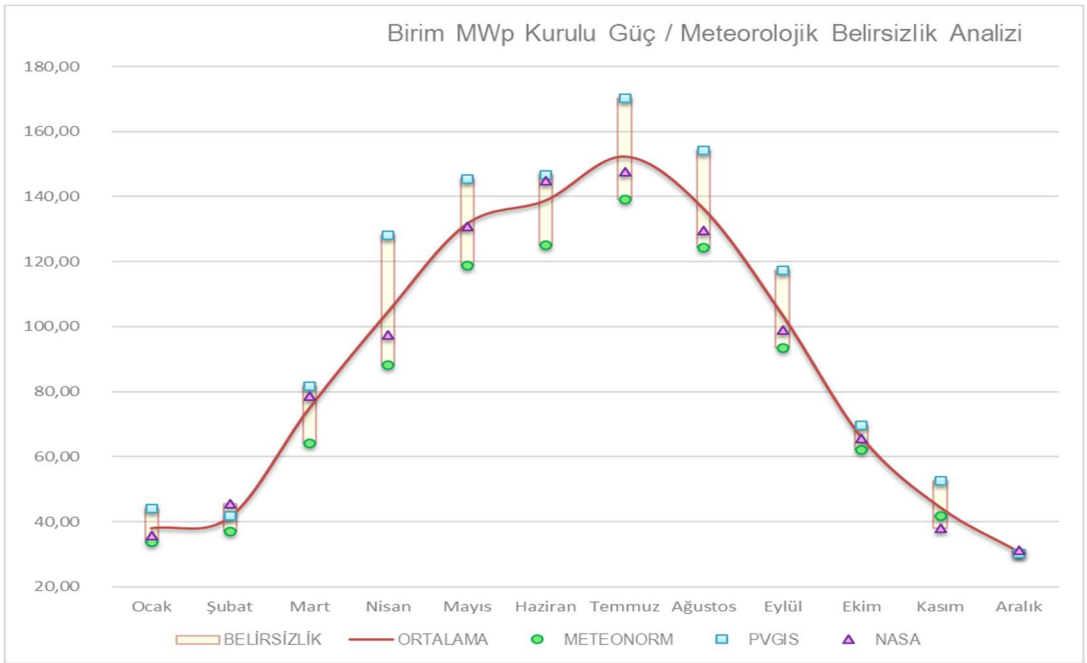
7.4.1 Üretim analizi

Tek hat şemasında projelendirilen sisteme göre 3 farklı meteorolojisi verisi sağladığımız veriler ile 3 farklı üretim analizi oluşturulmuştur. Çizelge 7.9'da 3 farklı meteorolojik veriye göre üretim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 7.9: Aylık üretim verileri.

	METEONORM (MWh)	PVGIS (MWh)	NASA (MWh)
Ocak	1,01	1,32	1,07
Şubat	1,11	1,25	1,36
Mart	1,91	2,44	2,35
Nisan	2,64	3,83	2,92
Mayıs	3,55	4,35	3,91
Haziran	3,74	4,39	4,33
Temmuz	4,16	5,09	4,41
Ağustos	3,72	4,61	3,88
Eylül	2,80	3,51	2,96
Ekim	1,85	2,08	1,96
Kasım	1,25	1,57	1,14
Aralık	0,90	0,90	0,93
TOPLAM	28,64	35,34	31,23
MWh/MWp	957,89	1181,97	1044.35

Yukarıdaki analiz sonuçlarına göre yıllık bazda %11'lik üretim sapması gözükmektedir. Sapmaların aylık bazda olan kırılımı Şekil 7.12'de verilmiştir.



Şekil 7.12: Aylık Bazda Üretim Sapması.

Tüm üretim verilerinin ortalaması alınarak oluşturulan olasılık analizli üretim değerleri Çizelge 7.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 7.10: P50, P90 ve P95 Üretim Değerleri.

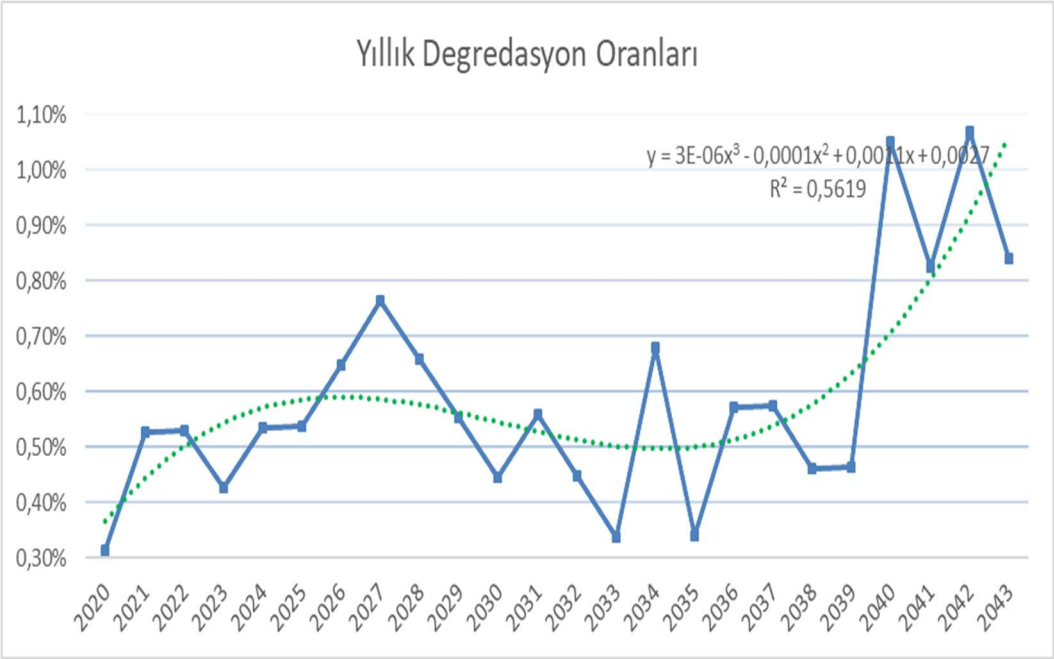
	P50 (MWh)	P90 (MWh)	P95 (MWh)
Ocak	1,13	1,06	1,04
Şubat	1,24	1,16	1,14
Mart	2,24	2,10	2,06
Nisan	3,13	2,94	2,88
Mayıs	3,95	3,70	3,64
Haziran	4,15	3,90	3,83
Temmuz	4,55	4,28	4,20
Ağustos	4,07	3,82	3,75
Eylül	3,09	2,90	2,85
Ekim	1,97	1,85	1,81
Kasım	1,32	1,24	1,22
Aralık	0,91	0,86	0,84
TOPLAM (MWh)	31,75	29,80	29,25

Bu yatırımın 25 yıllık bir yatırım olduğu düşünüldüğünde ise yıllık degredasyon oranları hesaba katılarak oluşturulan persantil analizi Çizelge 7.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.11: Gelecek yıllar üretim persantil analizi.

	P50 (MWh)	P90 (MWh)	P95 (MWh)
2019	31,70	29,76	29,21
2020	31,60	29,67	29,12
2021	31,43	29,51	28,97
2022	31,27	29,35	28,81
2023	31,13	29,23	28,69
2024	30,97	29,07	28,54
2025	30,80	28,91	28,38
2026	30,60	28,73	28,20
2027	30,37	28,51	27,98
2028	30,17	28,32	27,80
2029	30,00	28,16	27,65
2030	29,87	28,04	27,52
2031	29,70	27,88	27,37
2032	29,57	27,76	27,25
2033	29,47	27,66	27,16
2034	29,27	27,48	26,97
2035	29,17	27,38	26,88
2036	29,00	27,22	26,73
2037	28,83	27,07	26,57
2038	28,70	26,94	26,45
2039	28,57	26,82	26,33
2040	28,27	26,54	26,05
2041	28,03	26,32	25,83
2042	27,73	26,04	25,56
2043	27,50	25,82	25,34

Güneş panellerinde verim kaybı “degredasyon”, tek bir panelin uzun yıllara istinaden yaşadığı verim kaybının yıllık verim kaybına dönüştürülmesi ile hesaplanır ki tek bir panel için bu değer doğrudur. Lakin güneş panelleri birbiri aralarında heterojen şekilde verim kaybına uğrarlar; bir diğer deyişle bazı panellerde verim kaybı %0.2 civarında olabilirken başka bir güneş panelinde bu kayıp %2’ye yakınsayabilir. Şekil 7.13’te yıllık degredasyon için regresyon analizi yapılmıştır.



Şekil 7.13: Yıllık degredasyon için regresyon analizi.

Güneş enerjisi santrallerinde birbirine seri olarak bağlı olan bu güneş panelleri özellik olarak seri oldukları dizideki gücü en düşük olan panelin gücüne yakınsarlar. Daha basit anlatacak olursak; ör. 300W gücünde panellerden oluşan 23 panellik bir dizide bir panelin 250W gücüne düşmesi tüm diziyi 250W gücüne yakınsatır. Bu kayba uyumsuzluk "mismatch" kaybı adı verilir. Güneş santrallerinin gelecek yıllardaki üretimleri hesaplanırken bu ikinci kayıp değişkeni de baz alınmalıdır.

Bu ikinci değişken ile birlikte en doğru sonuca yakınsamak için Monte Carlo simülasyonu metodolojisi uygulanmaktadır. Monte Carlo simülasyonunun doğası gereği her iterasyonda bulunan üretim değeri farklı olmaktadır. Bu çok değişkenli metodoloji sonucunda her yıl için ön görülen üretim değeri hesaplaması her hesaplandığında yaklaşık %0,5 civarında farklı çıkabilmektedir.

Bu kapsamda "Degredasyonlu Gelecek Üretim Beklentileri" verileri ile diğer simülasyon verileri arasında rakamsal farklılıklar olabilir.

7.4.2 Mahsuplaşma analizi

Çizelge 7.12'de aylık mahsuplaşma analiz sonuçları bulunmaktadır.

Bölüm 7.1.4.'te yapılan tüketim analizleri ile bölüm 7.4.1.'de yapılan üretim verileri karşılaştırıldığında oluşan aylık mahsuplaşma değerleri Çizelge 7.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.12: Aylık enerji mahsuplaşma analizi.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Tüketim (kWh)	-1.740	-1.570	-1.720	-1.680	-1.730	-1.660	-1.740	-1.710	-1.690	-1.740	-1.650	-1.740	-20.370
Üretim P50(kWh)	1.133	1.239	2.236	3.127	3.945	4.152	4.554	4.069	3.089	1.967	1.321	912	31.745
Fark	-607	-331	516	1.447	2.215	2.492	2.814	2.359	1.399	227	-329	-828	11.375

Görüldüğü üzere kış aylarında güneş enerjisi santralinden üretilen elektrik tüketimi karşılayamasa da mart-ekim arasında tüketimi karşılamakta ve aynı zamanda şebekeye de fazla elektrik basabilmektedir.

Finansal açıdan değerlendirebilmek için ise bazı varsayımlar yapılmalıdır. Bu varsayımlardan bazıları aşağıdaki Çizelgede sarı renkte gösterilen yıllık elektrik zammı ve yıllık elektrik tüketim artış oranı. Bir diğer değişken ise devletin mahsuplaşma sonrası uygulayacağı tarife. Bu tarife ile ilgili bir bilgi olmadığı için 2018 yılı aylık PTF ortalama rakamları ilk yıl için kullanıldı. Sonraki yıllar ise yıllık elektrik zam oranı hesaba dahil edildi. Çizelge 7.13'te finansal analiz için gerekli veriler verilmiştir.

Çizelge 7.13: Finansal analiz için gerekli veriler.

Gerekli Bilgiler		
Kurulu Güç	29900	Wp
Lokasyon	Soma	
Beklenen Yıllık Degredasyon	0,006	
Beklenen Üretim	1061	kWh/kWp/Yıl
Yıllık Elektrik Zammı	0,15	
Yıllık Elektrik Tüketim Artış Oranı	0,05	
Üretim (saat/ay)		
Ocak	1,13	
Şubat	1,24	
Mart	2,24	
Nisan	3,13	
Mayıs	3,95	
Haziran	4,15	
Temmuz	4,55	
Ağustos	4,07	
Eylül	3,09	
Ekim	1,97	
Kasım	1,32	
Aralık	0,91	

Çizelge 7.14'te sonuçlar gösterilmiştir. Sistemi ocak ayında devreye aldığınızda 3 aylık bir nakit eksi pozisyonundan sonra artıya çıkıyorsunuz. Eğer sistem Nisan-Eylül ayları arasında devreye alınırsa da ilk aydan nakit pozitifte kalabiliyorsunuz.

Çizelge 7.14: Aylık mahsuplaşma gelir çizelgesi.

	Mali Yıl	MY1	MY1	MY1	MY1	MY1	MY1	MY1	MY1	MY1	MY1	MY1	MY1
	Yıl	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67	0,75	0,83	0,92	1,00
	Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Tüketim	kWh	-1740	-1570	-1720	-1680	-1730	-1660	-1740	-1710	-1690	-1740	-1650	-1740
Üretim	kWh	1133	1239	2236	3127	3945	4152	4554	4069	3089	1967	1321	912
Fark	kWh	-607	-331	516	1447	2215	2492	2814	2359	1399	227	-329	-828
Elektrik Fiyatı													
Ortalama PTF Fiyatı	TL/AY	176	169	157	188	173	184	208	297	317	298	290	258
Nakit Durumu	TL	-107	-56	81	272	384	458	584	700	444	68	-95	-214
Nakit Akışı	TL	-107	-163	-82	191	575	1032	1617	2317	2761	2828	2733	2519

Çizelge 7.15'te yıllık mahsuplaşma analiz sonuçları gösterilmiştir.

Bölüm 8.1.4.'te yapılan tüketim analizleri ile bölüm 8.4.1.'de yapılan üretim verileri karşılaştırıldığında oluşan yıllık mahsuplaşma değerleri aşağıdaki gibidir. Burada her yıl tüketim miktarının %5 oranında artacağı öngörülmektedir.

Çizelge 7.15: Yıllık mahsuplaşma.

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Tüketim (kWh)	-20.370	-21.389	-22.458	-23.581	-24.760	-25.998	-27.298	-28.663	-30.096	-31.601	-33.181
Üretim P50(kWh)	31.700	31.600	31.433	31.267	31.133	30.967	30.800	30.600	30.367	30.167	30.000
Fark	11.330	10.212	8.975	7.686	6.373	4.969	3.502	1.937	271	-1.434	-3.181

Görüldüğü üzere kurulan enerji sistemi ilk 9 yılın tüm elektriğini karşılayabilmektedir. Üstüne şebekeye fazla elektrik basmaktadır. Bu fazla üretim devletin izin verdiği tarife metodolojisi üzerinden satılabilir ve bu da son tüketicinin aynı zamanda kara geçmesi demektir.

Finansal açıdan değerlendirdiğimizde gelir modelimiz aylık mahsuplaşmaya göre daha farklı bir hal almaktadır. Burada ise mahsuplaşma sonrası elektrik ticareti ise 2018 yılı ortalama PTF rakamı üzerinden gerçekleştirildi.

Çıkan sonuç ise aşağıdaki gibidir. Sistemi hangi ay devreye alırsanız alın hiç elektrik faturası ödemiyorsunuz. Ayrıca yıl sonu devlete fatura kesiyorsunuz. Fakat fiyatın düşüklüğünden dolayı 2033 yılında nakit negatif duruma düşüyorsunuz. Çizelge 7.16'da yıllık mahsuplaşma analizi gösterilmektedir.

Çizelge 7.16: Yıllık mahsuplaşma gelir çizelgesi

	Yıl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Ay	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Tüketim	kWh	-20370	-21389	-22458	-23581	-24760	-25998	-27298	-28663	-30096	-31601	-33181	-34840	-36582	-38411	-40331
Üretim	kWh	31700	31600	31433	31267	31133	30967	30800	30600	30367	30167	30000	29867	29700	29567	29467
Fark	kWh	11330	10212	8975	7686	6373	4969	3502	1937	271	-1434	-3181	-4973	-6882	-8844	-10865
Elektrik Fiyatı																
Ortalama PTF Fiyatı	TL/AY	227	261	274	288	302	317	333	350	367	386	405	425	446	469	492
Nakit Durumu	TL	2572	2666	2460	2212	1926	1577	1167	678	100	-553	-1288	-2115	-3073	-4146	-5348
Nakit Akışı	TL	2572	5238	7698	9910	11836	13413	14579	15257	15357	14804	13516	11401	8328	4182	-1166

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yakın gelecekte fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi ve çevreye onarılamayacak zararları vermesi nedeniyle daha sürdürülebilir ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar, güneş, biyokütle, dalga, hidrojen, jeotermal vb.) uzun zamandır bütün ülkelerin enerji politikalarında ana başlık olmuştur. Küresel bir farkındalık haline gelen temiz enerji konusu yenilenebilir enerjiyi popüler hale getirmiştir. Fotovoltaik teknolojisinin en belirgin özelliği, yenilenebilir enerjiler arasında ölçeklenebilen tek teknoloji olmasıdır. Ölçeklenebilirlik sayesinde fotovoltaik teknolojisi ilgi odağı olmayı başardı ve karbon emisyonu sorunu ile birlikte de yaygınlaştı.

Yapılan literatür araştırması neticesinde; bu çalışmayı diğerlerinden ayıran en önemli özellik, Türkiye'deki mevzuatın dikkate alınması, teknik tasarım detaylarına girilmesi, uygun tasarım ve üretim analizinin yapılması ve gelir Çizelgesi oluşturulmasıdır. Başka bir deyişle, mühendislik, yönetmelik takibi, analiz, finans ve teknoloji takibi başlıklarının hepsini harmanlayarak disiplinler arası bir çalışma olmasıdır ve metodolojiyi sunmasıdır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda %11'lik üretim sapması bulunmuştur. 29,9kWp'lik kurulması planlanan BAPV sistemin ilk P50 üretim değeri yıllık 31,75MWh olarak analiz edilmiştir. Degredasyon hesaba katıldığında ise 25 yıl sonunda 27,50MWh elektrik üretimi gerçekleşeceği öngörülmektedir. Aylık mahsuplaşma gerçekleştiğinde; sistemi ocak ayında devreye aldığınızda 3 aylık bir nakit eksi pozisyonundan sonra artıya çıkılmaktadır. Eğer sistem Nisan-Eylül ayları arasında devreye alınırsa da ilk aydan nakit pozitifte kalınabilmektedir. Çizelge 8.1'de proje bilgilendirme Çizelgesi verilmiştir.

Çizelge 8.1: Proje bilgilendirme Çizelgesi.

Proje Bilgilendirme Çizelgesi	
Ev Konumu	Soma, Manisa
Yıllık Difüzif Işınım Miktarı	603 kWh/m²
Yıllık Dikey Işınım Miktarı	1566 kWh/m²
Yıllık Ortalama Sıcaklık Değeri	15.9C°
Çatının Azimut Açısı	90° - 90°
Çatıdaki Uygun Alan	76 m²
Çatının Eğim Açısı	32°
Yıllık Elektrik Tüketim Değeri	20370 kWh
Üretim Tesisi Kurulu Gücü	29,9 kWp
Panel Sayısı	92
Panel Gücü	325 Watt
Kullanılan Panel Teknolojisi	HIT
Kullanılan Evirici Teknolojisi	Çoklu MPPT'li
Yıllık Elektrik Üretim Değeri(P50)	31745 kWh
Yıllık Üretim Sapması	11%
Proje Maliyeti	21.000 Amerikan Doları

Günümüzde güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyeti 70 Sent/Watt civarındadır. Örnek projenin maliyeti ise yaklaşık 21.000 Amerikan Doları'dır. Maliyeti bu kadar yüksek olan bir yatırımın geri dönüş süresini minimum seviyede tutmak için tasarım aşamasında yapılacak analiz çalışmalarına çok önem verilmelidir. Bu projede geliştirilen yaklaşımda yer seçiminden gelir çizelgesine kadarki tüm süreç açıklanmıştır. Çalışmadaki yöntem; çatısından kendi elektriğini üretmek isteyen tüm tüketiciler tarafından uygulanabilir durumdadır.

Güneş enerjisi santralleri dağıtık tesislerdir ve sadece gündüz vakti elektrik üretirler. Bu tesislerin sayısı arttıkça gün içinde değişken üretim sergileyen bu tesislerin öğlen vakti tam kapasite ile akşam vakti hiç çalışmamaları şebekede gerilim değişikliklerine sebep olacaktır. Bu sebeple gelecekte yapılacak çalışmalarda dağıtık üretim tesislerinin dağıtık şebekelere etkisi üzerine araştırmalar yapılarak bu tesislerin

şebekeye zarar vermeden varlıklarını nasıl sürdürebilecekleri sorusuna yanıt aranmalıdır. Böylelikle bu çalışmadaki örnek sayılarının uygulamada artması ile şebekeye gelecek bir hasarın önüne geçilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **KONDA** (2018). *Türkiye'de İklim Değişikliği ve enerji Algısı ve Enerji Tercihleri Araştırması*

[2] **Global Market Outlook** (2017).

[3] **IEA**, Url-1 *https://www.iea.org/renewables2018/power/* erişim tarihi 03.05.2019.

[4] **Turin (2016).** 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, Status and outlook for building integrated photovoltaics (BIPV) in relation to educational needs in the BIPV sector, ITALY

[5] **E. Delponte, F. Marchi, F. Frontini, C. Polo, K. Fath ve M. Batey** (2015). *BIPV in EU28, from niche to mass market: an assessment of current projects and the potential for growth through product innovation* (in: 31st Eur. Photovolt. Sol. Energy Conf. Exhib., pp. 3046–3050)

[6] **The global building integrated photovoltaics (BIPV) market** (2015). Global Industry Analysts

[7] **Lisanssız Elektrik Yönetmeliği** (Karar tarihi 28/12/2017 ve karar numarası 7590 olan EPDK kurul kararı)

[8] **Gelir Vergisi Kanunu** (193 sayılı Gelir Vergisi Kanunun esnaf muaflığını düzenleyen 9. Maddesine 21/03/2018 tarihli ve 7103 sayılı Kanun)

[9] **TEİAŞ** (2018), (2018 Yılı Hizmet Satış Listesi Hakkında, 64889 sayılı Makam Oluru)

[10] **Patrina Eiffert & Ph.D. Gregory J. Kiss** (2017) Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures, *A Sourcebook for Architects.*

[11] **Ted James, Alan Goodrich, Michael Woodhouse, Robert Margolis ve Sean Ong,** (2011). Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices.

[12] **Planning and Installing Photovoltaik Systems** (2008), *A guide for installers, architects and engineers*, Second Edition.

[13] **Recent advancement in BIPV product Technologies** (2017) A review, Akash Kumar Shuklaa, K. Sudhakara,b,∗, Prashant Baredara, (a) Energy Centre, Maulana Azad National Institute of Technology Bhopal, India, (b) Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 26600 Pahang, Malaysia

[14] **C. Ferrara, H.R. Wilson ve W. Sprenger** (2015). Building-Integrated Photovoltaics (BIPV), Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany

[15] **Africa-EU Renewable Energy Coorperation Programme(RECP)** (2017). Global Market Outlook.

[16] **A.J. Aristizábal ve Jorge Tadeo Lozano** (2017), Experimental Investigation of The Performance of 6 kW BIPV System Applied in Laboratory Building, C.A. PáezEngineering Department, Universidad de Bogotá Cr. 4 22-61, Bogotá, Colombia

[17] **Selçuk SAYIN ve İlhan KOÇ** (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri, Selçuk Üniversitesi, Müh.–Mim. Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kampüs/KONYA

[18] **Hüsamettin BULUT** (2019). IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, *Bina Enerji Analizi Ve Güneş Enerji Sistemleri İçin Eğimli Yüzeylere Gelen Toplam Güneş Işınım Şiddeti Değerlerinin Hesaplanması*, Sempozyum Bildirisi

[19] **Simon Roberts & Nicolò Guariento** (2009). Building integrated photovoltaics, A handbook,

[20] **Thomas, R., Grainger T., Gething, B. ve Keys, M.** (1999). Photovoltaic in buildings-a design guide, ETSU, DTI, Report S/P2/00282/REP, London.

[21] **Oluklulu, Ç.** (2001), Güneş Enerjisinden Etkin Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Modüller, Boyutlandırılmaları ve Mimaride Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[22] Url-3 http://www.solarpanelsindustry.com/p/dc-cable-work-on-solar-farms.html erişim tarihi 25.04.2019

[23] **Solar Power EUROPE**, (2018)

[24] **Rooftop Solar Market Assessment Summary Note** (2018), TURKEY

[25] **Desi Luvita N. R., Mohammad Kholid R. ve Rachmawan Budiarto**, (2019) A scenario of BAPV and BIPV system for long-term projection energy demand in Yogyakarta -

[26] **Zhang Wen, Zhang Yukun, Li Zhe, Zheng Zheng ve Zhang Rui - Chen Jiaxuan** (2016). A rapid evaluation method of existing building applied photovoltaic (BAPV) potential, School of Architecture, *Tianjin University*, Tianjin 300072, Çin.

[27] **Wenli Wanga, Yongsheng Liua, Xinfang Wua, Yan Xua, Wenying Yua, Chunjiang Zhaoa ve Yunbo Zhong** (2016) Environmental assessments and economic performance of BAPV and BIPV systems in Shanghai, , Institute of Solar Energy, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, Çin.

[28] **ChaoZhou, RuobingLiang, JiliZhang ve AhmadRiaz** (2017). Experimental Study on Dynamic Thermal Response of Building Attached Photovoltaic (BAPV) Curtain Wall System.

[29] **Dirk Goossensa, Hans Goverdea ve Francky Catthoor** (2018). *Effect of wind on temperature patterns, electrical characteristics, and performance of building-integrated and building-applied inclined photovoltaic modules*, Leuven Belçika.

[30] **F. Corcellia, G. Fiorentino , A. Petit-Boix, J. Rieradevall ve X. Gabarrell** (2019). Transforming rooftops into productive urban spaces in the Mediterranean. An LCA comparison of agri-urban production and photovoltaic energy generation, İspanya.

[31] **Isis Portolan dos Santos ve Ricardo Rüther** (2013). Limitations in solar module azimut and tilt angles in building integrated photovoltaics at low latitude tropical sites in Brazil.

[32] **Joana Abreu, Nathalie Wingartz ve Natasha Hardy** (2019). New trends in solar: A comparative study assessing the attitudes towards the adoption of rooftop PV Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE, Boston, MA, USA.

[33] **Nallapaneni Manoj Kumara, K. Sudhakarb ve M. Samykano** (2018). Performance comparison of BAPV and BIPV systems with c-Si, CIS and CdTe photovoltaic technologies under tropical weather conditions.

EKLER

EK A : Meteonorm iklim verilerine göre üretim analizi sonuçları.
EK B : PVGIS iklim verilerine göre üretim analizi sonuçları.
EK C : NASA iklim verilerine göre üretim analizi sonuçları.

EK A

SOLARIAN	PVSYST V6.78	SOLARIAN	31/03/19	Page 1/8
	www.solarian.com.tr			

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Ornek Ev**			
Geographical Site	**Soma_TermikLojman**		Country	**Turkey**
Situation	Latitude	39.18° N	Longitude	27.61° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	170 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Soma_TermikLojman**	MeteoNorm file - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**			
	Simulation date	31/03/19 15h39		
	Simulation for the	**1st year of operation**		

Simulation parameters	System type	**Sheds system**		
Collector Plane Orientation	Tilt	32°	Azimuth	90°
Sheds configuration	Nb. of sheds	92		
	Sheds spacing	1.07 m	Collector width	1.07 m
Shading limit angle	Limit profile angle	74.1°	Ground cov. Ratio (GCR)	100.1 %
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Linear shadings			
User's needs :	Unlimited load (grid)			

PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)

PV module	HIT	Model	**VBHN325SJ47**	
Custom parameters definition		Manufacturer	Panasonic	
Sub-array "Bati Kisim"				
Number of PV modules		In series	15 modules	In parallel 4 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	60	Unit Nom. Power 325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**19.50 kWp**	At operating cond. 18.36 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	817 V	I mpp 22 A
Sub-array "Dogu Kisim"				
Number of PV modules		In series	16 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	32	Unit Nom. Power 325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**10.40 kWp**	At operating cond. 9.79 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	872 V	I mpp 11 A
Total Arrays global power		Nominal (STC)	**30 kWp**	Total 92 modules
		Module area	**154 m²**	Cell area 137 m²

Inverter	Model	**SUN2000-30KTL-A**		
Custom parameters definition	Manufacturer	Huawei Technologies		
Characteristics	Operating Voltage	200-980 V	Unit Nom. Power	30.0 kWac
			Max. power (=>35°C)	33.0 kWac
Sub-array "Bati Kisim"	Nb. of inverters	2 * MPPT 33 %	Total Power	20 kWac
			Pnom ratio	0.97
Sub-array "Dogu Kisim"	Nb. of inverters	1 * MPPT 33 %	Total Power	10.0 kWac
			Pnom ratio	1.04
Total	Nb. of inverters	1	Total Power	30 kWac

PV Array loss factors

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Simulation parameters

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Array#1	595 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Array#2	1269 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Global		Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-1.3 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction	0.10 %
Module average degradation	Year no	1	Loss factor	0.4 %/year
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year

Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	40°	60°	70°	80°	85°	90°
1.000	1.000	0.960	0.890	0.680	0.430	0.000

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

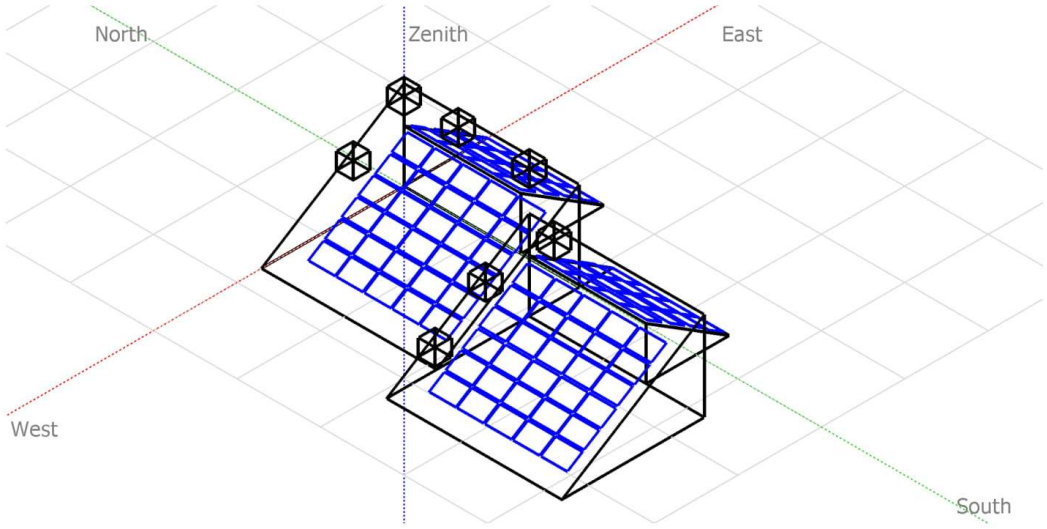
Grid-Connected System: Near shading definition

Project : **Ornek Ev**

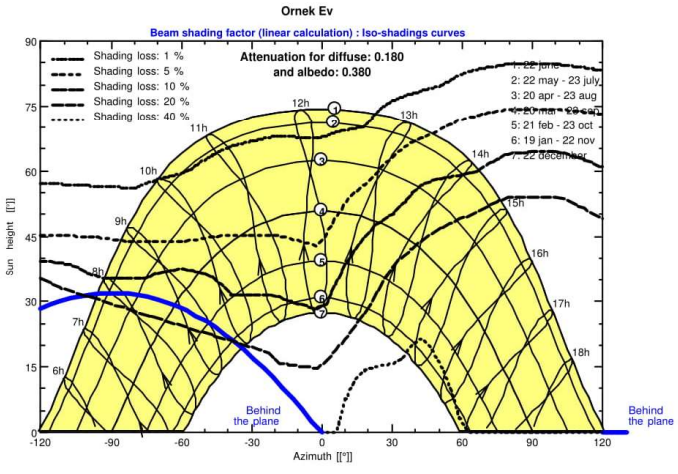
Simulation variant : **New simulation variant**
Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Main results

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **New simulation variant**

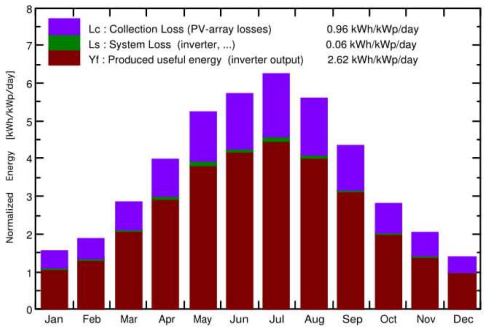
Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

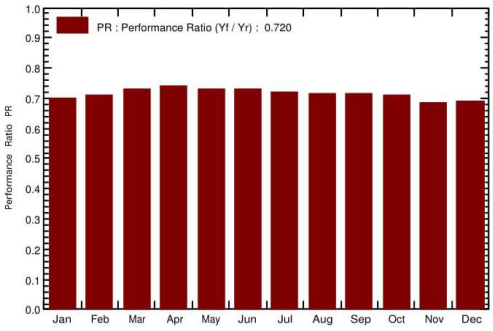
Main simulation results

System Production	**Produced Energy**	**28.63 MWh/year**	Specific prod.	958 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	71.98 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 29.90 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	49.7	30.93	5.41	48.0	35.9	1.041	1.008	0.702
February	53.1	28.75	6.23	52.1	39.6	1.142	1.109	0.712
March	94.4	57.11	10.02	87.7	68.5	1.965	1.914	0.730
April	128.0	78.38	13.87	119.0	94.3	2.701	2.638	0.742
May	174.2	83.06	19.73	162.5	129.8	3.634	3.554	0.731
June	192.1	89.43	24.65	171.4	138.3	3.819	3.740	0.730
July	209.1	77.27	28.29	193.6	156.0	4.243	4.156	0.718
August	185.2	73.11	27.63	173.5	138.9	3.796	3.718	0.717
September	138.2	60.48	21.99	130.6	102.6	2.860	2.797	0.716
October	91.4	49.33	17.18	87.5	67.2	1.901	1.854	0.709
November	62.5	29.16	10.56	60.7	44.6	1.277	1.242	0.684
December	43.8	28.22	6.75	43.6	32.3	0.931	0.901	0.691
Year	1421.7	685.24	16.09	1330.3	1047.9	29.310	28.631	0.720

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

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

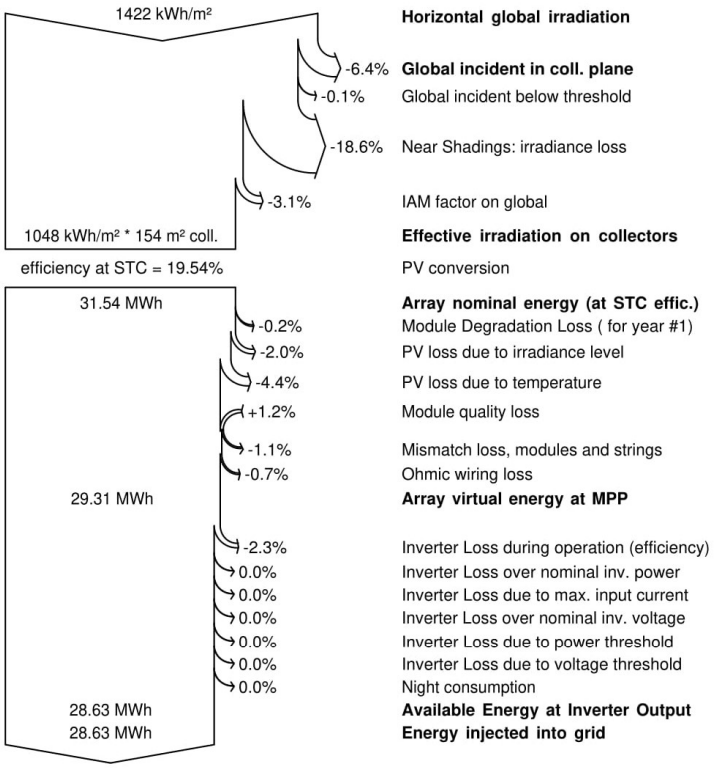
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **New simulation variant**
Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: P50 - P90 evaluation

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **New simulation variant**

Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Evaluation of the Production probability forecast

The probability distribution of the system production forecast for different years is mainly dependent on the meteo data used for the simulation, and depends on the following choices:

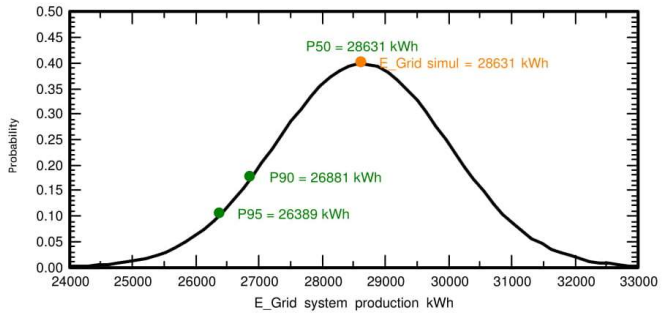
Meteo data source		MeteoNorm file		
Meteo data	Kind	Specific year	Year	Synthetic
Specified Deviation	Year deviation from average	0.0 %		
Year-to-year variability	Variance	4.4 %		

The probability distribution variance is also depending on some system parameters uncertainties

Specified Deviation	PV module modelling/parameters	1.0 %	
	Inverter efficiency uncertainty	0.5 %	
	Soiling and mismatch uncertainties	1.0 %	
	Degradation uncertainty	1.0 %	
Global variability (meteo + system)	Variance	4.8 %	(quadratic sum)

Annual production probability		
	Variability	**1.36 MWh**
	P50	**28.63 MWh**
	P90	**26.88 MWh**
	P95	**26.39 MWh**

Probability distribution



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Ageing Tool

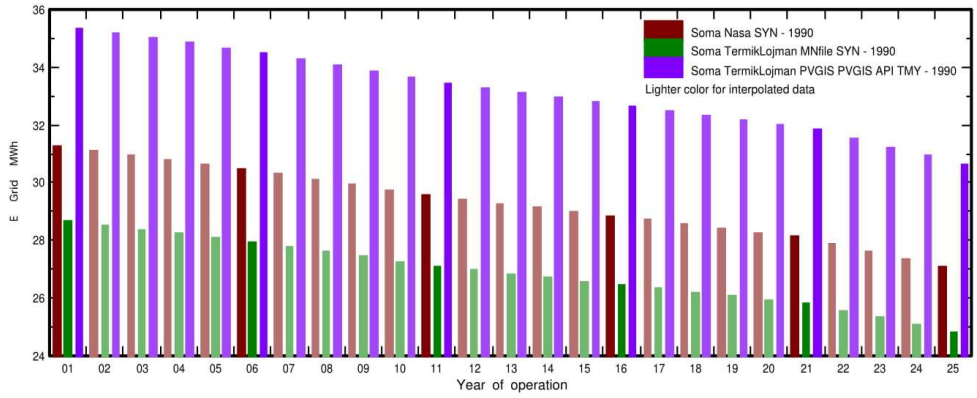
Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **New simulation variant**
Simulation for the 1st year of operation

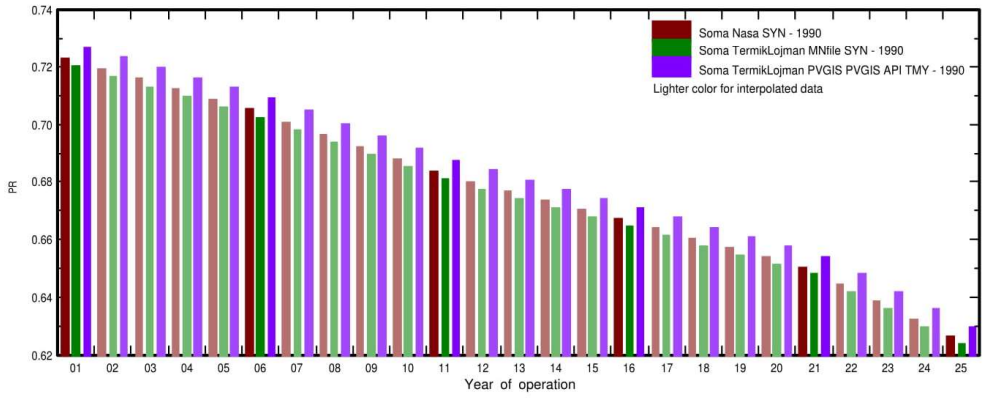
Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Ageing Parameters	Time span of simulation	25 years		
Module average degradation	Loss factor	0.4 %/year		
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year
Meteo used in the simulation				
#1 Soma Nasa SYN	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25
#2 Soma TermikLojman MNfile SYN	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25
#3 Soma TermikLojman PVGIS PVGIS API TMY	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25

Energy injected into grid



Performance Ratio



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Ageing Tool

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **New simulation variant**
Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**			
Near Shadings	Linear shadings				
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°	
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp	
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**	
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Ageing Parameters	Time span of simulation	25 years		
Module average degradation	Loss factor	0.4 %/year		
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year
Meteo used in the simulation				
#1 Soma Nasa SYN	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25
#2 Soma TermikLojman MNfile SYN	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25
#3 Soma TermikLojman PVGIS PVGIS API TMY	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25

	#1	#1	#1
Year	E Grid	PR	PR loss
	MWh		%
1	31.2	0.723	-0.5%
2	31.1	0.719	-1%
3	30.9	0.716	-1.5%
4	30.8	0.712	-2%
5	30.6	0.708	-2.5%
6	30.5	0.705	-3%
7	30.3	0.701	-3.6%
8	30.1	0.696	-4.2%
9	29.9	0.692	-4.8%
10	29.7	0.688	-5.4%
11	29.5	0.683	-6%
12	29.4	0.68	-6.4%
13	29.2	0.677	-6.9%
14	29.1	0.673	-7.3%
15	29	0.67	-7.8%
16	28.8	0.667	-8.2%
17	28.7	0.664	-8.7%
18	28.5	0.66	-9.1%
19	28.4	0.657	-9.6%
20	28.2	0.654	-10%
21	28.1	0.65	-10.5%
22	27.8	0.644	-11.3%
23	27.6	0.638	-12.2%
24	27.3	0.632	-13%
25	27.1	0.626	-13.8%

	#2	#2	#2
Year	E Grid	PR	PR loss
	MWh		%
1	28.6	0.72	-0.9%
2	28.5	0.716	-1.4%
3	28.4	0.713	-1.9%
4	28.2	0.709	-2.4%
5	28.1	0.706	-2.9%
6	27.9	0.702	-3.3%
7	27.8	0.698	-3.9%
8	27.6	0.694	-4.5%
9	27.4	0.689	-5.1%
10	27.2	0.685	-5.7%
11	27.1	0.681	-6.3%
12	26.9	0.677	-6.8%
13	26.8	0.674	-7.2%
14	26.7	0.671	-7.7%
15	26.6	0.668	-8.1%
16	26.4	0.664	-8.6%
17	26.3	0.661	-9%
18	26.2	0.658	-9.5%
19	26	0.654	-9.9%
20	25.9	0.651	-10.4%
21	25.8	0.648	-10.8%
22	25.5	0.642	-11.7%
23	25.3	0.636	-12.5%
24	25	0.63	-13.3%
25	24.8	0.624	-14.2%

	#3	#3	#3
Year	E Grid	PR	PR loss
	MWh		%
1	35.3	0.727	0%
2	35.2	0.723	-0.5%
3	35	0.72	-1%
4	34.8	0.716	-1.5%
5	34.7	0.712	-2%
6	34.5	0.709	-2.4%
7	34.3	0.704	-3%
8	34.1	0.7	-3.6%
9	33.8	0.696	-4.2%
10	33.6	0.691	-4.8%
11	33.4	0.687	-5.4%
12	33.3	0.684	-5.9%
13	33.1	0.68	-6.3%
14	32.9	0.677	-6.8%
15	32.8	0.674	-7.3%
16	32.6	0.671	-7.7%
17	32.5	0.667	-8.2%
18	32.3	0.664	-8.6%
19	32.1	0.661	-9.1%
20	32	0.657	-9.5%
21	31.8	0.654	-10%
22	31.5	0.648	-10.8%
23	31.2	0.642	-11.7%
24	30.9	0.636	-12.5%
25	30.6	0.63	-13.4%

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

EK B

SOLARIAN	PVSYST V6.78	SOLARIAN	31/03/19	Page 1/6
	www.solarian.com.tr			

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Ornek Ev**				
Geographical Site	**Soma_TermikLojman**			Country	**Turkey**
Situation		Latitude	39.18° N	Longitude	27.61° E
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	170 m
		Albedo	0.20		
Meteo data:		**Soma**	Synthetic		
Simulation variant :	**Ornek Ev_NASA**				
		Simulation date	31/03/19 15h49		
		Simulation for the	**1st year of operation**		
Simulation parameters		System type	**Sheds system**		
Collector Plane Orientation		Tilt	32°	Azimuth	90°
Sheds configuration		Nb. of sheds	92		
		Sheds spacing	1.07 m	Collector width	1.07 m
Shading limit angle		Limit profile angle	74.1°	Ground cov. Ratio (GCR)	100.1 %
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		Linear shadings			
User's needs :		Unlimited load (grid)			
PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)					
PV module	HIT	Model	**VBHN325SJ47**		
Custom parameters definition		Manufacturer	Panasonic		
Sub-array "Bati Kisim"					
Number of PV modules		In series	15 modules	In parallel	4 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	60	Unit Nom. Power	325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**19.50 kWp**	At operating cond.	18.36 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	817 V	I mpp	22 A
Sub-array "Dogu Kisim"					
Number of PV modules		In series	16 modules	In parallel	2 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	32	Unit Nom. Power	325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**10.40 kWp**	At operating cond.	9.79 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	872 V	I mpp	11 A
Total Arrays global power		Nominal (STC)	**30 kWp**	Total	92 modules
		Module area	**154 m²**	Cell area	137 m²
Inverter		Model	**SUN2000-30KTL-A**		
Custom parameters definition		Manufacturer	Huawei Technologies		
Characteristics		Operating Voltage	200-980 V	Unit Nom. Power	30.0 kWac
				Max. power (=>35°C)	33.0 kWac
Sub-array "Bati Kisim"		Nb. of inverters	2 * MPPT 33 %	Total Power	20 kWac
				Pnom ratio	0.97
Sub-array "Dogu Kisim"		Nb. of inverters	1 * MPPT 33 %	Total Power	10.0 kWac
				Pnom ratio	1.04
Total		Nb. of inverters	1	Total Power	30 kWac
PV Array loss factors					

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Simulation parameters

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Array#1	595 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Array#2	1269 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Global		Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-1.3 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction	0.10 %
Module average degradation	Year no	1	Loss factor	0.4 %/year
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year

Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	40°	60°	70°	80°	85°	90°
1.000	1.000	0.960	0.890	0.680	0.430	0.000

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Near shading definition

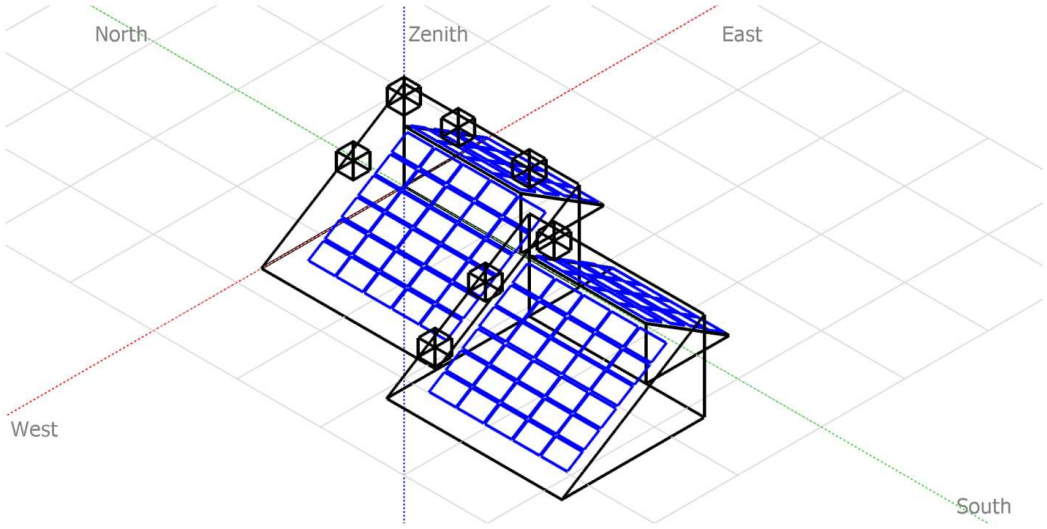
Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_NASA**

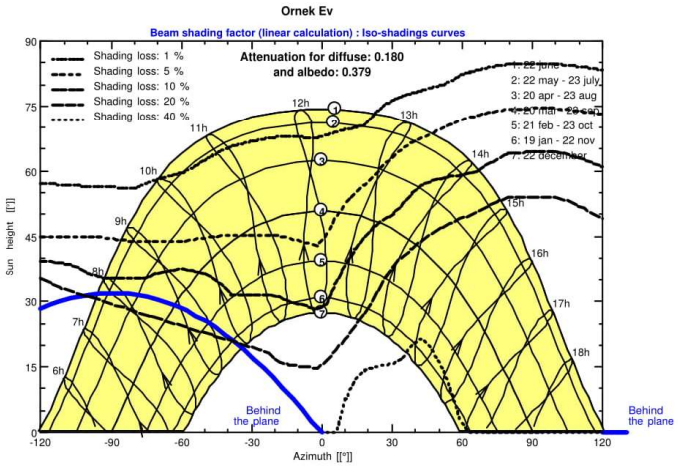
Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Main results

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_NASA**

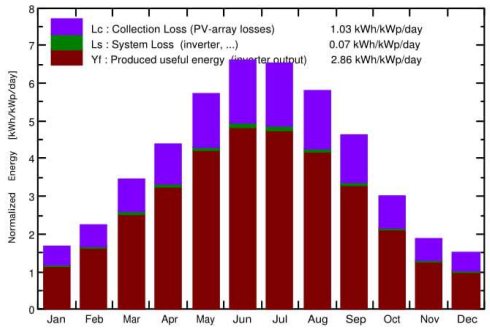
Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

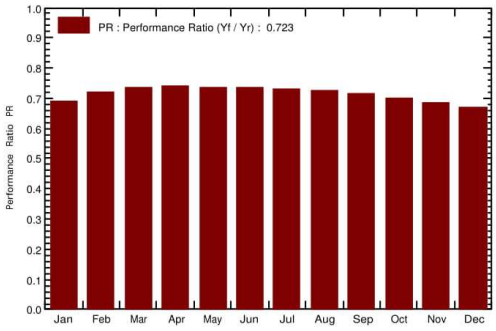
Main simulation results

System Production				
	Produced Energy	**31.23 MWh/year**	Specific prod.	1044 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	72.26 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 29.90 kWp



Performance Ratio PR



Ornek Ev_NASA

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	53.3	25.42	5.87	52.0	38.2	1.105	1.072	0.689
February	66.6	31.64	6.00	63.2	48.0	1.398	1.359	0.719
March	112.5	47.74	8.55	106.7	83.2	2.409	2.351	0.737
April	142.2	59.40	13.50	131.7	104.6	2.984	2.916	0.741
May	188.5	67.58	18.99	177.7	142.4	3.995	3.909	0.736
June	211.8	64.20	23.50	197.7	160.2	4.422	4.331	0.733
July	221.0	61.07	25.95	202.6	164.5	4.507	4.414	0.729
August	192.2	55.49	25.67	179.4	143.8	3.959	3.877	0.723
September	146.4	45.00	22.11	138.3	108.5	3.027	2.962	0.716
October	95.8	38.44	17.03	93.6	71.1	2.011	1.963	0.701
November	59.1	27.00	11.28	55.9	41.2	1.174	1.140	0.683
December	44.0	22.63	7.21	46.4	33.5	0.962	0.932	0.671
Year	1533.5	545.61	15.53	1445.3	1139.2	31.955	31.227	0.723

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

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Loss diagram

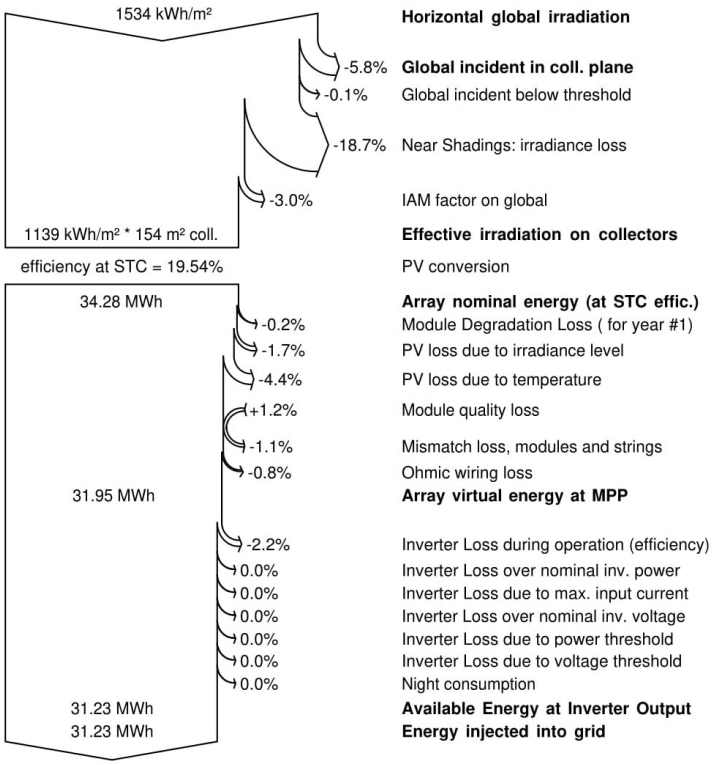
Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_NASA**

Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: P50 - P90 evaluation

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_NASA**

Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Evaluation of the Production probability forecast

The probability distribution of the system production forecast for different years is mainly dependent on the meteo data used for the simulation, and depends on the following choices:

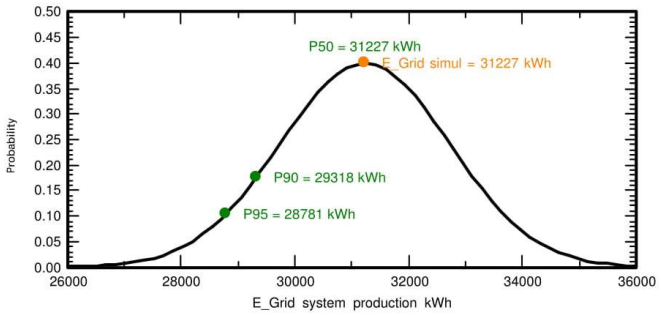
Meteo data source				
Meteo data	Kind	Specific year	Year	Synthetic
Specified Deviation	Year deviation from average	0.0 %		
Year-to-year variability	Variance	4.4 %		

The probability distribution variance is also depending on some system parameters uncertainties

Specified Deviation	PV module modelling/parameters	1.0 %	
	Inverter efficiency uncertainty	0.5 %	
	Soiling and mismatch uncertainties	1.0 %	
	Degradation uncertainty	1.0 %	
Global variability (meteo + system)	Variance	4.8 %	(quadratic sum)

Annual production probability	**Variability**	**1.49 MWh**
	P50	**31.23 MWh**
	P90	**29.32 MWh**
	P95	**28.78 MWh**

Probability distribution



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

EK C

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Ornek Ev**				
Geographical Site	**Soma_TermikLojman**			Country	**Turkey**
Situation		Latitude	39.18° N	Longitude	27.61° E
Time defined as		Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	170 m
		Albedo	0.20		
Meteo data:	**Soma_TermikLojman_PVGIS**	PVGIS: CMSAF, SARAH or NSRDB - TMY			

Simulation variant :	**Ornek Ev_PVGIS**				
		Simulation date	31/03/19 15h49		
		Simulation for the	**1st year of operation**		

Simulation parameters		System type	**Sheds system**		
Collector Plane Orientation		Tilt	32°	Azimuth	90°
Sheds configuration		Nb. of sheds	92		
		Sheds spacing	1.07 m	Collector width	1.07 m
Shading limit angle		Limit profile angle	74.1°	Ground cov. Ratio (GCR)	100.1 %
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Imported
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		Linear shadings			
User's needs :		Unlimited load (grid)			

PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)

PV module	HIT	Model	**VBHN325SJ47**		
Custom parameters definition		Manufacturer	Panasonic		
Sub-array "Bati Kisim"					
Number of PV modules		In series	15 modules	In parallel	4 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	60	Unit Nom. Power	325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**19.50 kWp**	At operating cond.	18.36 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	817 V	I mpp	22 A
Sub-array "Dogu Kisim"					
Number of PV modules		In series	16 modules	In parallel	2 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	32	Unit Nom. Power	325 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**10.40 kWp**	At operating cond.	9.79 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	872 V	I mpp	11 A
Total Arrays global power		Nominal (STC)	**30 kWp**	Total	92 modules
		Module area	**154 m²**	Cell area	137 m²

Inverter		Model	**SUN2000-30KTL-A**		
Custom parameters definition		Manufacturer	Huawei Technologies		
Characteristics		Operating Voltage	200-980 V	Unit Nom. Power	30.0 kWac
				Max. power (=>35°C)	33.0 kWac
Sub-array "Bati Kisim"		Nb. of inverters	2 * MPPT 33 %	Total Power	20 kWac
				Pnom ratio	0.97
Sub-array "Dogu Kisim"		Nb. of inverters	1 * MPPT 33 %	Total Power	10.0 kWac
				Pnom ratio	1.04
Total		Nb. of inverters	1	Total Power	30 kWac

PV Array loss factors

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Simulation parameters

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Array#1	595 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Array#2	1269 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Global		Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-1.3 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction	0.10 %
Module average degradation	Year no	1	Loss factor	0.4 %/year
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year

Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	40°	60°	70°	80°	85°	90°
1.000	1.000	0.960	0.890	0.680	0.430	0.000

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Near shading definition

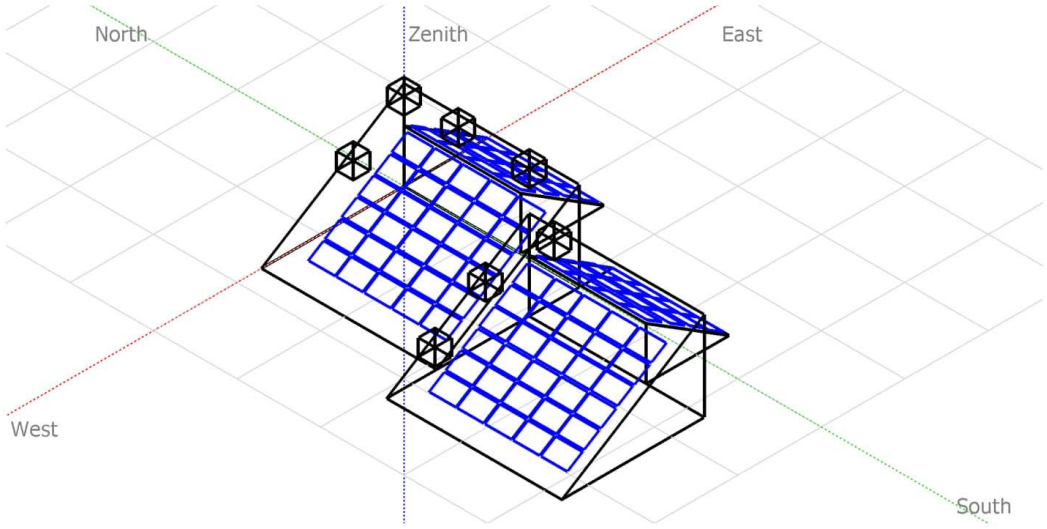
Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_PVGIS**

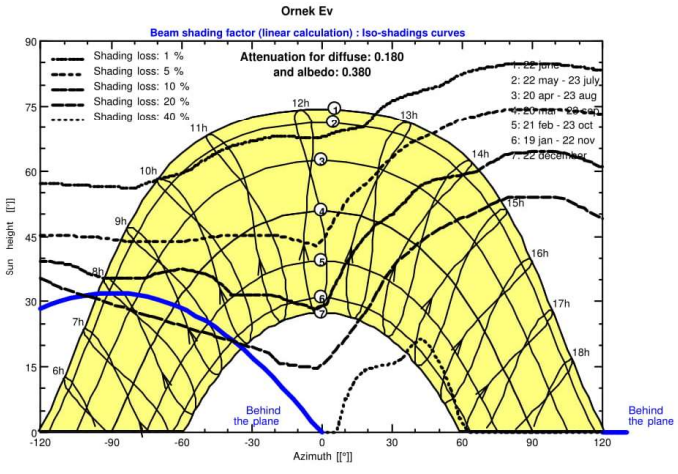
Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Main results

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_PVGIS**

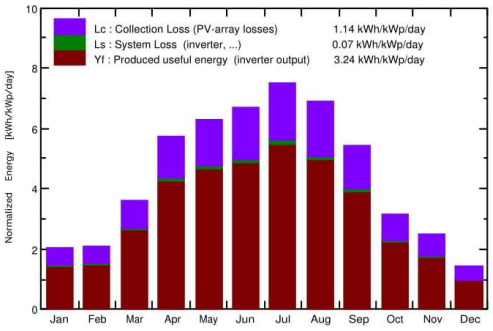
Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

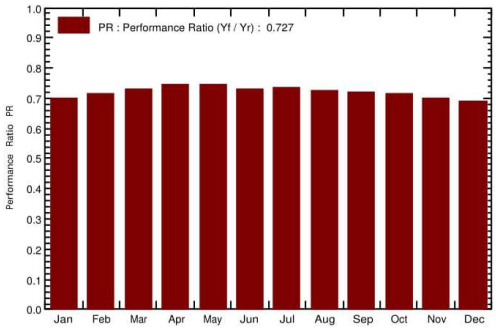
Main simulation results

System Production				
	Produced Energy	**35.34 MWh/year**	Specific prod.	1182 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	72.66 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 29.90 kWp



Performance Ratio PR



Ornek Ev_PVGIS

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	66.0	30.68	5.49	63.2	46.5	1.358	1.320	0.699
February	62.1	38.37	8.82	58.3	44.4	1.286	1.248	0.716
March	112.6	48.27	8.77	111.9	86.8	2.506	2.444	0.731
April	183.3	63.95	12.81	171.6	137.2	3.912	3.827	0.746
May	214.3	68.45	19.28	195.2	159.2	4.438	4.345	0.745
June	221.0	67.64	24.96	201.4	163.5	4.479	4.386	0.728
July	248.5	59.83	24.92	232.2	189.9	5.197	5.093	0.734
August	227.3	53.36	26.54	213.0	172.3	4.706	4.613	0.724
September	175.6	44.95	23.31	163.6	129.5	3.583	3.509	0.717
October	106.6	45.08	17.06	97.7	75.3	2.135	2.083	0.713
November	78.6	32.08	11.63	74.9	55.8	1.612	1.571	0.701
December	46.9	26.65	9.28	43.9	32.7	0.933	0.902	0.688
Year	1742.8	579.32	16.11	1626.7	1293.2	36.145	35.341	0.727

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

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Loss diagram

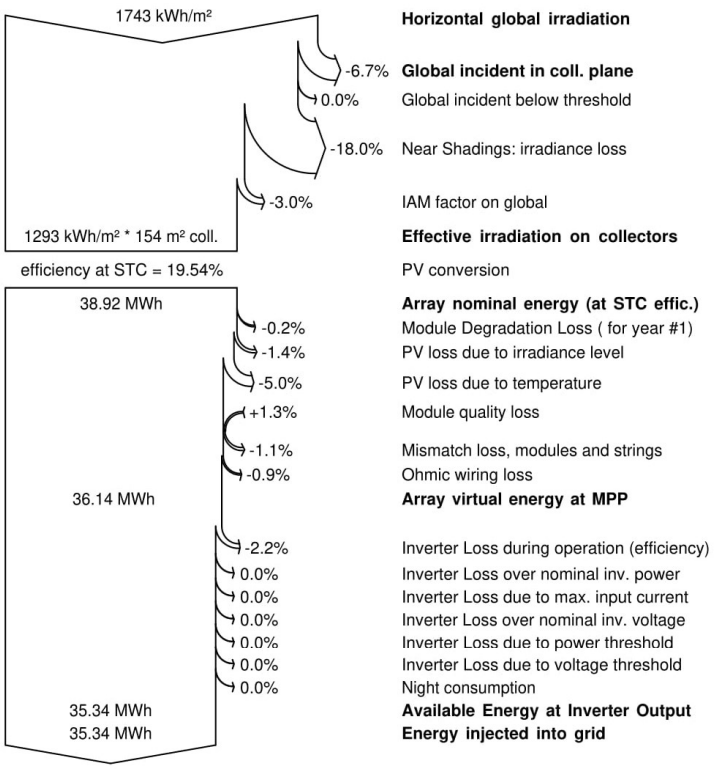
Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_PVGIS**

Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: P50 - P90 evaluation

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_PVGIS**

Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Evaluation of the Production probability forecast

The probability distribution of the system production forecast for different years is mainly dependent on the meteo data used for the simulation, and depends on the following choices:

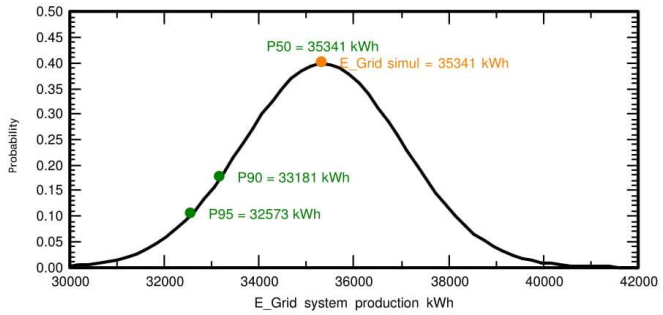
Meteo data source		PVGIS: CMSAF, SARAH or NSRDB		
Meteo data	Kind	Specific year	Year	TMY
Specified Deviation	Year deviation from average	0.0 %		
Year-to-year variability	Variance	4.4 %		

The probability distribution variance is also depending on some system parameters uncertainties

Specified Deviation	PV module modelling/parameters	1.0 %	
	Inverter efficiency uncertainty	0.5 %	
	Soiling and mismatch uncertainties	1.0 %	
	Degradation uncertainty	1.0 %	
Global variability (meteo + system)	Variance	4.8 %	(quadratic sum)

Annual production probability	**Variability**	**1.68 MWh**
	P50	**35.34 MWh**
	P90	**33.18 MWh**
	P95	**32.57 MWh**

Probability distribution



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Ageing Tool

Project : **Ornek Ev**

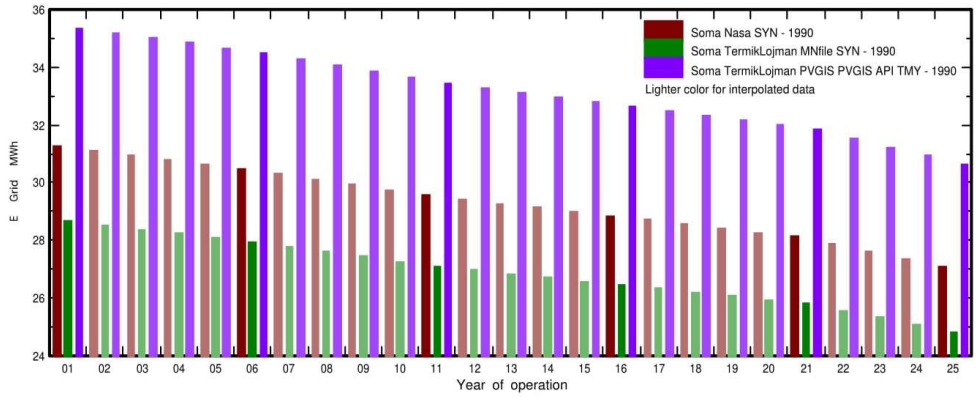
Simulation variant : **Ornek Ev_PVGIS**

Simulation for the 1st year of operation

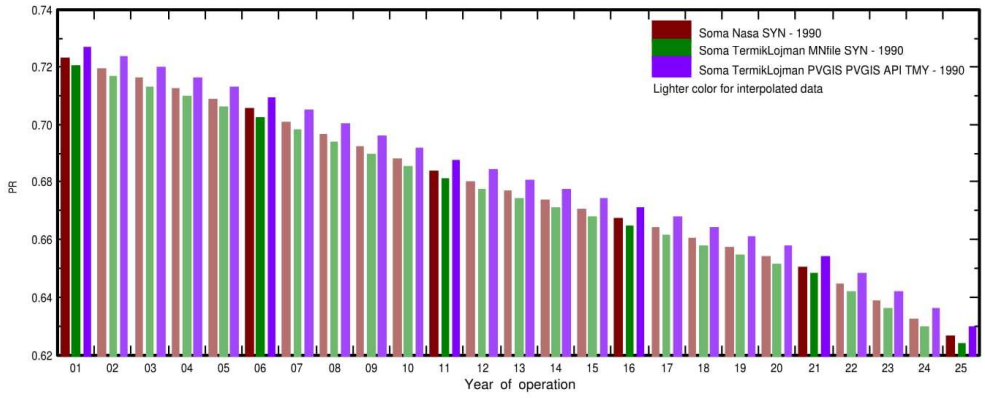
Main system parameters	System type	**Sheds system**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Ageing Parameters	Time span of simulation	25 years		
Module average degradation	Loss factor	0.4 %/year		
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year
Meteo used in the simulation				
#1 Soma Nasa SYN	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25
#2 Soma TermikLojman MNfile SYN	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25
#3 Soma TermikLojman PVGIS PVGIS API TMY	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25

Energy injected into grid



Performance Ratio



PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

Grid-Connected System: Ageing Tool

Project : **Ornek Ev**

Simulation variant : **Ornek Ev_PVGIS**

Simulation for the 1st year of operation

Main system parameters	System type	**Sheds system**			
Near Shadings	Linear shadings				
PV Field Orientation	tilt	32°	azimuth	90°	
PV modules	Model	VBHN325SJ47	Pnom	325 Wp	
PV Array	Nb. of modules	92	Pnom total	**29.90 kWp**	
Inverter	Model	SUN2000-30KTL-A	Pnom	30.0 kW ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Ageing Parameters	Time span of simulation	25 years		
Module average degradation	Loss factor	0.4 %/year		
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year
Meteo used in the simulation				
#1 Soma Nasa SYN	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25
#2 Soma TermikLojman MNfile SYN	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25
#3 Soma TermikLojman PVGIS PVGIS API TMY	Years	1990	Years simulated	1,6,11,16,21,25

	#1	#1	#1
Year	E Grid	PR	PR loss
	MWh		%
1	31.2	0.723	-0.5%
2	31.1	0.719	-1%
3	30.9	0.716	-1.5%
4	30.8	0.712	-2%
5	30.6	0.708	-2.5%
6	30.5	0.705	-3%
7	30.3	0.701	-3.6%
8	30.1	0.696	-4.2%
9	29.9	0.692	-4.8%
10	29.7	0.688	-5.4%
11	29.5	0.683	-6%
12	29.4	0.68	-6.4%
13	29.2	0.677	-6.9%
14	29.1	0.673	-7.3%
15	29	0.67	-7.8%
16	28.8	0.667	-8.2%
17	28.7	0.664	-8.7%
18	28.5	0.66	-9.1%
19	28.4	0.657	-9.6%
20	28.2	0.654	-10%
21	28.1	0.65	-10.5%
22	27.8	0.644	-11.3%
23	27.6	0.638	-12.2%
24	27.3	0.632	-13%
25	27.1	0.626	-13.8%

	#2	#2	#2
Year	E Grid	PR	PR loss
	MWh		%
1	28.6	0.72	-0.9%
2	28.5	0.716	-1.4%
3	28.4	0.713	-1.9%
4	28.2	0.709	-2.4%
5	28.1	0.706	-2.9%
6	27.9	0.702	-3.3%
7	27.8	0.698	-3.9%
8	27.6	0.694	-4.5%
9	27.4	0.689	-5.1%
10	27.2	0.685	-5.7%
11	27.1	0.681	-6.3%
12	26.9	0.677	-6.8%
13	26.8	0.674	-7.2%
14	26.7	0.671	-7.7%
15	26.6	0.668	-8.1%
16	26.4	0.664	-8.6%
17	26.3	0.661	-9%
18	26.2	0.658	-9.5%
19	26	0.654	-9.9%
20	25.9	0.651	-10.4%
21	25.8	0.648	-10.8%
22	25.5	0.642	-11.7%
23	25.3	0.636	-12.5%
24	25	0.63	-13.3%
25	24.8	0.624	-14.2%

	#3	#3	#3
Year	E Grid	PR	PR loss
	MWh		%
1	35.3	0.727	0%
2	35.2	0.723	-0.5%
3	35	0.72	-1%
4	34.8	0.716	-1.5%
5	34.7	0.712	-2%
6	34.5	0.709	-2.4%
7	34.3	0.704	-3%
8	34.1	0.7	-3.6%
9	33.8	0.696	-4.2%
10	33.6	0.691	-4.8%
11	33.4	0.687	-5.4%
12	33.3	0.684	-5.9%
13	33.1	0.68	-6.3%
14	32.9	0.677	-6.8%
15	32.8	0.674	-7.3%
16	32.6	0.671	-7.7%
17	32.5	0.667	-8.2%
18	32.3	0.664	-8.6%
19	32.1	0.661	-9.1%
20	32	0.657	-9.5%
21	31.8	0.654	-10%
22	31.5	0.648	-10.8%
23	31.2	0.642	-11.7%
24	30.9	0.636	-12.5%
25	30.6	0.63	-13.4%

PVsyst Licensed to Solarian Enerji (Turkey)

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad **:** Onur GÜNEŞ

E-Posta **:** onrgunes@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans **:** Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği