

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLKESİ DOĞRULTUSUNDA GÜNEŞ ENERJİSİ  
POTANSİYELİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İLE DEĞERLENDİRİLMESİ;  
KADIKÖY-FİKİRTEPE KENTSEL DÖNÜŞÜM ALANI TEST UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SELMA URFAN**

**Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı**

**Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı**

**Aralık 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLKESİ DOĞRULTUSUNDA GÜNEŞ ENERJİSİ  
POTANSİYELİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İLE DEĞERLENDİRİLMESİ;  
KADIKÖY-FİKİRTEPE KENTSEL DÖNÜŞÜM ALANI TEST UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SELMA URFAN  
(706161037)**

**Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı**

**Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Filiz Bektaş Balçık**

**ARALIK 2018**



İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 706161037 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Selma URFAN ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLKESİ DOĞRULTUSUNDA GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İLE DEĞERLENDİRİLMESİ; KADIKÖY-FİKİRTEPE KENTSEL DÖNÜŞÜM ALANI TEST UYGULAMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Filiz Bektaş Balçık** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Füsun Balık Şanlı** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Özgür Doğru** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **16 Kasım 2018**

**Savunma Tarihi :** **12 Aralık 2018**



## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın bütün aşamalarında yardımlarını esirgemeyen ve tezimin ortaya çıkmasında, geliştirilmesinde yaptığı büyük katkılardan dolayı değerli hocam Doç. Dr. Filiz BEKTAŞ BALÇIK'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans hayatım boyunca sınırsız sevgi ve destekleri için çok kıymetli aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak açık kaynak kodlu kullanıma izin verdikleri için web uygulamalarından Andrew Marsh web uygulamalarını sağlayan Andrew Marsh'a, CM SAF PVMIS İnteraktif web uygulamasını sağlayan Avrupa Komisyonu Enerji ve Ulaşım Enstitüsü Ortak Araştırma Merkezi'ne ve ASTERGDDEM ile Sayısal Yükseklik Modelini sağlayan Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları Arazi Süreçleri Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım 2018

Selma URFAN  
( Şehir ve Bölge Plancısı)





## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
SEMBOLLER .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER TABLOSU .....	xv
ÖZET .....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı.....	5
1.2 Tezin Kapsamı .....	6
<b>2. ENERJİ KAYNAKLARI ve KULLANIM DURUMLARI.....</b>	<b>9</b>
2.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları.....	13
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	15
<b>3. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA ve AKILLI ŞEHİRCİLİK .....</b>	<b>23</b>
3.1 Sürdürülebilir Kalkınma .....	24
3.2 Yenilenebilir Enerji Açısından Sürdürülebilir Kalkınma .....	29
3.3 Yenilenebilir Enerji ve Akıllı Şehircilik Kavramı .....	30
3.3.1 Gelişim süreci .....	31
3.3.2 Akıllı şehircilik bileşenleri.....	33
<b>4. SOLAR FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEMLERİ .....</b>	<b>35</b>
4.1 Tarihsel Gelişim.....	35
4.2 Fotovoltaik Panel Sistemleri, Bileşenleri ve Çeşitleri .....	38
4.3 BIPV Panel Sistemleri, Bileşenleri ve Çeşitleri.....	42
4.4 PV Panel Sistemleri Avantajları ve Dezavantajları .....	48
<b>5. FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEMLERİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>51</b>
5.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Yapılan Hesaplamalar .....	51
5.2 Web Uygulamaları İle Yapılan Hesaplamalar .....	53
5.2.1 Andrew Marsh Web uygulaması.....	53
5.2.1.1 Andrew Marsh ile Güneş ışınlarının geliş açılarının hesaplanması .....	53
5.2.1.2 Andrew Marsh web uygulaması ile PV panel açılarının hesaplanması .....	55

5.2.1.3 Andrew Marsh web uygulamaları ile solar radyasyon miktarının hesaplanması .....	57
5.2.2 CM SAF PVGIS web uygulaması.....	59
5.2.2.1 CM SAF PVGIS web uygulaması ile panel eğim açılarının hesaplanması... 60	
5.2.2.2 CM SAF PVGIS web uygulaması ile solar radyasyon miktarlarının hesaplanması .....	60
5.2.2.3 CM SAF PVGIS ile PV panellerinin enerji üretim miktarının hesaplanması	61
<b>6. ÇALIŞMA ALANI, KULLANILAN VERİ ve TEST ALANI UYGULAMASI.....</b>	<b>63</b>
6.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri .....	63
6.2 Test Alanı Uygulaması.....	65
6.2.1 Fiziksel çevre kontrolü analizleri .....	65
6.2.2 PV panel sistem hesaplamaları.....	68
6.2.2.1 Güneş ışınlarının geliş açılarının hesaplanması .....	68
6.2.2.2 Panel eğim açılarının hesaplanması .....	70
6.2.2.3 Solar radyasyon miktarının hesaplanması .....	72
6.2.2.4 PV sistem enerji üretimi hesaplamaları .....	75
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>81</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>87</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>91</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>103</b>

## KISALTMALAR

<b>PV</b>	: Fotovoltaik
<b>BIPV</b>	: Bina Entegre Fotovoltaik
<b>IUCN</b>	: Uluslararası Doğayı Koruma Birliği
<b>NEPA</b>	: Ulusal Çevre Politikası Akdi
<b>UÇEP</b>	: Ulusal Çevre Eylem Planı
<b>WCS</b>	: Dünya Koruma Stratejisi
<b>UNEP</b>	: Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Programı
<b>WCED</b>	: Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
<b>CSD</b>	: Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu
<b>UN</b>	: Birleşmiş Milletler
<b>IET</b>	: Uluslararası Salınım Ticareti
<b>CDM</b>	: Temiz Kalkınma Mekanizması
<b>JI</b>	: Ortak Uygulama
<b>UNFCCC</b>	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi
<b>BİT-İCT</b>	: Bilgi İşlem Teknolojisi
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>AC</b>	: Alternatif Akım
<b>ADD</b>	: Array DC Disconnect
<b>MPPT</b>	: Maximum Power Point Tracker
<b>CdTe</b>	: Kadmiyum Tellurit
<b>CIGS</b>	: Koper İndium Galium Selenid
<b>DOE</b>	: Amerika Birleşik Devletleri Enerji Departmanı
<b>DEM</b>	: Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
<b>TIN</b>	: Triangulated Irregular Network ( Üçgenleştirilmiş Bozuk Ağ)
<b>GIS</b>	: Geographic Information System (Coğrafi Bilgi Sistemleri)
<b>IoT</b>	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)



## SEMBOLLER

<b>CdTe</b>	: Kadmiyum Tellürid
<b>CIGS</b>	: Bakır İndiyum Galyum Deselenid
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbon Dioksit
<b>GW</b>	: 1 milyar Watt'a karşılık gelen elektrik ölçü birimi
<b>MW</b>	: Watt'ın 1 milyon katına denk gelen ölçü birimi
<b>Mtep</b>	: Milyon ton petrol eşdeğeri
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Nitrojen Azot oksitleri
<b>Wh</b>	: Bir güç kaynağı tarafından bir saatte sağlanabilecek elektrik gücü miktarı
<b>TWh</b>	: Bir Watt'ın 1 trilyon katına denk gelen ölçü birimi



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Birincil enerji kaynak tüketimleri, ülke ve yıllara göre.....	<b>12</b>
<b>Çizelge 2.2</b> : 2016 yılı toplam enerji tüketiminde yenilenebilir kaynak payı.....	<b>16</b>
<b>Çizelge 2.3</b> : Sektöre göre toplam nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji (Url-6).....	<b>16</b>
<b>Çizelge 2.4</b> : Ülke ve teknolojiye göre yenilenebilir enerjide tahmini doğrudan ve dolaylı çalışan (Url-6).....	<b>17</b>
<b>Çizelge 2.5</b> : Toplam kesin enerji tüketiminde biyoenerji payları, genel ve son kullanım sektörü, 2016 (Url-6).....	<b>18</b>
<b>Çizelge 6.2</b> : Yapı detayları.....	<b>64</b>
<b>Çizelge 6.3</b> : NASA-ASTERDEM sayısal yükseklik modeli.....	<b>65</b>
<b>Çizelge 6.4</b> : Güneş ışınları ve panel eğim açıları.....	<b>72</b>
<b>Çizelge 6.5</b> : Panel özellikleri (Url-30).....	<b>75</b>
<b>Çizelge 6.6</b> : Panel elektrik üretim verileri.....	<b>76</b>
<b>Çizelge 6.7</b> : Yapı toplam enerji değerleri.....	<b>76</b>





## ŞEKİLLER TABLOSU

### Sayfa

Şekil 2.1 : Enerji kaynak sınıflaması. ....	11
Şekil 2.2 : Rüzgar gücü kapasitesi ve eklemeleri, en iyi 10 ülke, 2017 (Url-6). ....	20
Şekil 4.1 : PV sistem bileşenleri. ....	39
Şekil 5.1 : Bakı yönleri ve yüzey penceresi (Url-22). ....	52
Şekil 5.2 : Raster veri hücre yükselti değerleri (Url-22). ....	52
Şekil 5.3 : Raster veri hücreleri ve eğim analizi hücreleri (Url-22). ....	53
Şekil 5.4 : Güneş dünya ilişkisi (Url-3). ....	54
Şekil 5.5 : Panel açısı, güneş açısı ilişkisi (Url-3). ....	56
Şekil 5.6 : Güneş ışınları geliş açısı. ....	57
Şekil 5.7 : Direkt, dağınık, yansıyan ve küresel ışımalar. ....	58
Şekil 5.8 : Ay ve günün saatlerine göre küresel veya toplam ışıma. ....	58
Şekil 5.9 : CM SAF PVGIS- interaktif harita. ....	59
Şekil 5.10 : Solar radyasyon sonuçları. ....	61
Şekil 6.1 : Çalışma bölgesi. ....	63
Şekil 6.2 : NASA-ASTERDEM web uygulaması. ....	64
Şekil 6.3 : Bosch marka kristal silikon-thin film panel boyutları (Url-30). ....	65
Şekil 6.4 : Bakı analizi. ....	66
Şekil 6.5 : Yükseklik analizi. ....	67
Şekil 6.6 : Eğim analizi. ....	67
Şekil 6.7 : 21 Aralık tarihine göre güneş ışınlarının Türkiye'ye geliş yönü. ....	68
Şekil 6.8 : 21 Mart tarihine göre Güneş ışınlarının Türkiye'ye geliş yönü. ....	69
Şekil 6.9 : 21 Haziran tarihine göre Güneş ışınlarının Türkiye'ye geliş yönü. ....	69
Şekil 6.10 : 21 Haziran Güneş ışınlarının geliş yönü. ....	70
Şekil 6.11 : 21 Aralık Güneş ışınları ve yapı ilişkisi. ....	71
Şekil 6.12 : 21 Mart-23 Eylül Güneş ışınları ve yapı ilişkisi. ....	71
Şekil 6.13 : Ay ve günün saatlerine göre direkt-doğrudan Güneş ışıması. ....	73
Şekil 6.14 : Ay ve günün saatlerine göre dağınık (diffused) Güneş ışıması. ....	74
Şekil 6.15 : Ay ve günün saatlerine göre küresel veya toplam ışıma. ....	74
Şekil 6.16 : Thin-film solar radyasyon verileri. ....	77
Şekil 6.17 : Kristal silikon solar radyasyon verileri. ....	78



# **SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLKESİ DOĞRULTUSUNDA GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İLE DEĞERLENDİRİLMESİ; KADIKÖY-FİKİRTEPE KENTSEL DÖNÜŞÜM ALANI TEST UYGULAMASI**

## **ÖZET**

İnsanlık tarihi boyunca enerji günlük yaşamın vazgeçilmez parçalarından biri olmuştur. İlk insanların güneşten, rüzgârdan ve sudan yararlanma şekilleri gün geçtikçe farklılık göstermiştir. Yaşam şekillerinin değişimi ise enerjiye olan ihtiyacın artması ve kullanım şekillerinin değişimini beraberinde getirmiştir. Göçebe ve avcı-toplayıcı olan insanların yerleşik hayatı benimsemesi beslenme şekillerinde ve günlük yaşamlarındaki rutinleri üzerinde etkili olmuştur.

Yaşam alanlarının genişlemesi, şehirlerin kurulması, geniş topraklarda etkili uygarlıkların meydana gelişi ile enerjiye olan ihtiyaç ve enerjiyi kullanma şekilleri için büyük bir devrim olmuştur. Bu büyük değişimler özellikle Sanayi Devrimi ve sonrasında etkilerini göstermiş ve fosil kökenli kaynak kullanımını ciddi seviyelere çıkarmıştır.

Fosil kökenli yoğun kaynak kullanımı sonucunda ekosistemde ve canlı hayatında meydana gelen değişimler 20.yy'a kadar farkına varılamayan noktalar olmuştur. Fakat 20.yy sonunda gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar fosil kökenli kaynak kullanımının ekosistem açısından ciddi zararları olduğunu ve yüzyılın en önemli felaketlerinden olan Küresel Isınmanın birincil sebebi olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan bu bilimsel araştırmalar uluslararası önlemlerin alınması gerektiği ve sera gazı etkisi olarak bilinen küresel ısınmanın etkilerini ortadan kaldırmaya yönelik önemli adımların atılması gerektiğini göstermiştir. Sürdürülebilirlik açısından büyük önem arz eden ekosistemin ve canlı hayatının devamı fosil kökenli kaynakların yerini alacak bir enerji kaynağı ihtiyacını zorunlu kılmıştır.

Yapılan uluslararası konferans, toplantı, panel vb. faaliyetler ile önemli kararlar alınmaya başlanmış ve fosil kökenli kaynakların yerine temiz ve tükenmez olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim teşvik edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi güneş tarlaları, binalara entegre çatı ve cephe sistemleri ve çeşitli kent mobilyalarında kullanımları ile karşımıza çıkmaktadır.

Solar potansiyelin belirlenmesinde ve solar fotovoltaik (PV) panelleri ile üretilebilecek enerjinin hesaplanması için çeşitli yöntemler de aynı şekilde geliştirilmiştir. Bu yöntemler çeşitli masaüstü uygulamaları ve web uygulamalarını içermektedir. Masaüstü uygulamaları konum tabanlı hizmetlerden olup Coğrafi Bilgi Sistemlerinden faydalanılarak üretilmiş uygulamalardır. Öte yandan çeşitli web uygulamaları da online veri girişi ile solar verilerin elde edilmesinde yaygın kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Kadıköy Fikirtepe Kentsel Dönüşüm Alanı içerisinde seçilen test alanı için güneş enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Kentsel dönüşüm alanında

yapımı tamamlanmış 22 katlı bir ticari yapı güneş enerjisi potansiyeli açısından irdelenip solar PV panel üretimiyle elde edilen enerjinin yapının yıllık elektrik enerjisi ihtiyacını ne oranda karşılayacağını hesaplanması amaçlanmıştır. Solar potansiyelin hesaplanması için Andrew Marsh ve CM SAF PVGIS web uygulama araçları kullanılmıştır. Test alanı için güneş ışınları geliş açısı, panel eğim açıları, fiziksel çevre kontrolü, enerji üretim miktarı ve güneş ışınımı (solar radyasyon) hesaplanmıştır. Test yapısında 1 yıllık PV sistemleri ile üretilen enerji üretim miktarı ile yapının 1 yıllık enerji ihtiyacı karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak PV sistemlerinin ticari yapının 1 yıllık enerji ihtiyacını % 73 oranında karşıladığı gösterilmiştir.



**EVALUATION OF SOLAR ENERGY POTENTIAL BY PHOTOVOLTAIC  
SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH SUSTAINABILITY PRINCIPLE;  
KADIKÖY-FİKİRTEPE URBAN TRANSFORMATION AREA TEST  
APPLICATION**

**SUMMARY**

Throughout the history of mankind, energy has been an indispensable part of everyday life and has used it in different ways and areas of necessity. The ways in which the first people used the sun, wind and water differed day by day. The change in the way of life has led to an increase in the need for energy and the change of usage patterns. These first people, whose life styles evolve quite a lot of time, are eating, drinking, etc. they have a great influence on this change with their daily life preferences. Over time, people who adopted nomadic and hunter-gatherer life have continued their routine to cover a long time. The adoption of settled life by nomadic people has influenced the routines of diet and daily life.

It has been a great revolution for the expansion of habitats, the establishment of cities, the emergence of effective civilizations in large lands and the need for energy and the way in which it uses energy. This change, which provides an economic return in particular, makes its impact in almost every part of the world in a short time. These great changes have shown their effects especially in the Industrial Revolution and later and have increased the use of fossil-based resources that are necessary for industrial use. Population changes such as increasing population, migration from villages to cities, uncontrolled population growth have developed a rapid production and distribution network in industrial areas, thus increasing the number of people affected by fossil resources.

The changes in ecosystem and living life as a result of the intensive resource use of fossil origin have been unnoticed points until the 20th century. However, scientific research at the end of the twentieth century revealed that the use of fossil resources has serious harms in terms of ecosystems and is the primary cause of Global Warming, one of the most important catastrophes of the century. The greenhouse gas effect increases the temperature of the atmosphere and prevents the world from breathing. Increased temperature, melting of glaciers, changes in living species, various settlements under water, intense residential areas are under threat. The results, especially scientists, have led to serious research. These scientific studies have shown that it is necessary to take international measures and to take important steps to eliminate the effects of global warming known as the greenhouse gas effect. The continuation of the ecosystem and its vital life, which is of great importance for sustainability, necessitated the need for a source of energy to replace fossil resources. The fact that countries direct their investments according to the energy of fossil energy has revealed an energy addiction problem. As a matter of fact, the reserves of fossil-derived resources that have not been known for many years have the same century. As

a result of the scientific research conducted in 200 years and less were found. In addition, according to the results of the research, fossil-based sources used as masters threaten the life and ecosystem life. As a result of the use of fossil origin sources, gases and gases released into the air and nature affect the living tissue and ecosystem vitality and cause greenhouse gas. The effect of greenhouse gas, known as global warming, increases the temperature and prevents the world from breathing. This event, which caused a global climate change, caused the countries to make important decisions. For the developed states, which set their economic basis for fossil-based energy, this result was quite frightening and new steps were taken to meet the energy needs. The United Nations-led world has made decisions such as the gradual reduction of fossil-based resource use and investment in alternative renewable energy sources. Restriction of the use of fossil origin and the orientation to renewable energy have also allowed the start of various urban movements.

International conferences, meetings, panels etc. important decisions were taken with activities and instead of replacing fossil-based resources, the trend towards renewable energy sources, which were called clean and inexhaustible, was encouraged. Solar energy, which is one of the renewable energy sources, is used with solar fields, roof and façade systems integrated in buildings and their use in various urban furniture. Systems that integrate and operate renewable energy systems have started with smart urbanism and encourage clean energy.

The system required to make the solar potential available becomes PV panel systems. PV panel systems have stand-alone and grid-connected types. Stand-alone systems contain the battery in its components and store the resulting energy. In the case of grid-connected PV panel systems, components connected to the urban network occur and can sell the excess electricity to the city network. It also buys electricity from the mains when it cannot produce the electricity it needs. Various methods have also been developed to determine the solar potential and to calculate the energy that can be generated by solar photovoltaic (PV) panels. These methods include various desktop applications and web applications. Desktop applications are location based services and applications made by using Geographical Information Systems. On the other hand, various web applications are also widely used to obtain solar data via online data entry. The Web-based method is used for the following purposes in the PV panel system calculations; web applications can be accessed any time via any browser via the internet, the platform is independent and cloud-based, without requiring a specific hardware because they are based on cloud computing, whether with a smart mobile phone in the office to use the same result with the use of a high-performance computer, be free, for each area The fact that the calculation can be made is that desktop applications can be used without the need to do such update.

In this study, solar energy potential has been evaluated for the selected test area in Kadıköy Fikirtepe Urban Transformation Area. In this context, the number of panels required for PV panel systems, panel angle calculation, solar angle calculation, annual monthly and daily energy production behavior were taken into consideration. The 22-storey commercial building completed in the area of urban transformation was examined in terms of solar energy potential and the energy obtained by the production of solar PV panel system is aimed to calculate the amount of the annual electricity energy requirement of the building. Andrew Marsh and CM SAF PVGIS web application tools were used to calculate solar potential. Andrew Marsh web applications were analyzed with Earth / Sun, Weather 3D, Sun-Path and Shadows

plugins. The angle of incidence of solar rays for the test area was used for the Earth / Sun insertion panel tilt angle. By calculating the angles of the sun, the angles of the panels to be placed on the settlements, the panel angle of inclination, the physical environment control, the amount of energy production and solar radiation (solar radiation) were calculated. In the test structure, the energy production quantity produced by 1 year PV systems and the 1-year power requirement of the structure were compared. As a result, it has been shown that PV systems meet the 1-year energy requirement of the commercial structure by 73%.

The panels, which are the components of the PV panel system that meet the energy requirement of 73%, have an efficiency ratio of around 15% with the technology owned. In case of increasing the efficiency of the panel, it is possible to meet the energy needs, and also the electricity produced will be at a much higher rate and will provide a significant amount of energy.







## 1. GİRİŞ

Yaşadığımız dünya sistemler bütününden oluşmaktadır. Dünyanın sahip olduğu bu sistemler birbirleriyle uyumları ile belli bir dengede ilerlemektedir. Kara, deniz, hava ve canlı dokusunu barındıran ve belli bir dengede devam etmeye çalışan bu sistemler bütünü uyumu bozacak aksatacak ve yok edecek derecelerde bir etkiyle karşılaşması durumunda çeşitli olumsuz sonuçları da beraberinde getirebilmektedir. Bu bütüncül sistemin yaşamını devam ettirebilmesi ise her bir sistemin ihtiyacını giderecek türdeki enerji ile mümkündür. Canlı dokusuna müdahil olan insanoğlu da yaradılışından itibaren gündelik yaşamını devam ettirebilmek için enerjiye ihtiyaç duymuştur (Url-1).

İnsanoğlu uzun yıllar boyunca ilkel yöntemler kullanarak günlük enerji ihtiyacını gidermeye çalışmıştır. Başlangıçta basit odun, çıra ve çakmak taşı kullanılarak elde edilen ateş insanoğlunun günlük yeme, ısınma ve aydınlatma ihtiyaçlarını görmüştür. Ateş ayrıca insanoğluna vahşi hayvanlar ve hemcinsleri ile olan savaşlarında savunma aracı olarak yardımcı olmuştur. Dünya uzun yıllar boyunca bu basit yöntem ile insanoğlunun enerji ihtiyacını gidermiştir (Ağaçbiçer, 2010).

Artan nüfus ve karmaşıklaşan yaşam şekilleri enerjiye olan ihtiyacı oldukça artırmıştır. Bu değişiklikler ve yetersizlikler yüzyıllar boyunca büyük savaşlara ve derin yıkımlara sebebiyet vermiştir. Artan ihtiyacı karşılayabilmek adına üretimde başvurulan değişen yöntemler insan işgücünü aşan bir hal almıştır. İcat edilen buharlı makine ile üretim bandı uzamış ve üretilen mal sayısı giderek fazlalaşmıştır. Sanayi devrimi olarak adlandırılan bu büyük gelişme İngiltere önderliğinde önce Avrupa'yı sonra büyük devletleri ve bütün dünyayı kaplamıştır (Ağaçbiçer, 2010).

Fosil kaynaklı olan kömür hammaddesine bağlı olarak çalışan buharlı makine sistemi popülaritesini uzun yıllar devam ettirmiştir. Fakat gelişen dünya, değişen ihtiyaçlar ve yeni teknikler her geçen gün dünyanın yeni bir buluş ve keşif ile karşılaşmasını sağlamıştır. Bu buluşlar ve keşifler sonucunda nihayet 20. Yy başında dünya yeni güne yeni bir fosil kaynağın varlığı ile uyanmıştır. Petrol olarak isimlendirilen bu yeni kaynak enerji alanında bir çığır açmıştır ve günümüzde bile etkisini sürdürmektedir. Petrolün

bulunması enerji alanında yeni bir keşif olmasının yanı sıra büyük toprak yönetimi savaşlarının ve çekişmelerinin başlangıcı olmuştur. Kullanımı ve taşınması zor olan kömüre nazaran petrol kolay kullanılan, kolay taşınan ve verimliliği fazla olan bir kaynaktır. Bu açıdan dünya lideri konumundaki devletlerin özellikle 20-21. Yüzyıl savaşlarının ana sebebi olmuştur (Ağaçbiçer, 2010).

Petrolün vazgeçilemez bir enerji kaynağı olması ile özellikle dünya devi ülkelerin ekonomi planlarında yatırımlarının büyük çoğunluğu bu kaynağa göre ayarlanmıştır. Ulaşım araçlarının petrol türevi kaynakları kullanan sistemler ile tasarlanması, ülkelerin ticari adımlarının ve planlarının petrol kontrolünü ele alma eksenli olması dünyayı petrole bağımlı hale getirdiğinin en büyük göstergesidir. Bir başka fosil kaynak olan doğalgaz da aynı dönemlerde kullanılmaya başlanmış ve petrol gibi kendine bağımlılığı giderek artan bir kaynak olmuştur (Özek, 2009).

Kaynak yönetimini elinde bulundurmak ve atılan adımların bu kaynakların gelirlerine göre ayarlanması, fosil kökenli kaynakların uzun yıllardır kullanılıyor olmalarına rağmen tükenen kaynaklar olmalarının unutulmaması gerektiği gerçeğini hatırlatmıştır. Ekonominin gelişmesi, ihtiyaçların artması, üretimin artması, teknolojik gelişmeler vs. nin yanında bilimin de ilerliyor oluşu bu anlamda büyük bir uyarıcı olmuştur. Fosil kökenli kaynakların ömürlerinin 100 yıldan daha az kalmış olduğu bilgisi dünyanın enerji ihtiyacının karşılanma şeklinde ciddi değişiklikler yapılmasını sağlamıştır (Ağaçbiçer, 2010)

Öte yandan artan enerji kullanımı fosil kökenli enerjilerin hava, su, toprak ve canlı yaşamında meydana getirdiği kirleticiliği ciddi seviyelere getirmiştir. Hidrokarbon barındıran fosil kökenli kaynakların kullanımı sonucunda ortaya çıkan CO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazlar atmosfere salınmaktadır. Türkiye CO<sub>2</sub> salınımındaki artış ile ilgili Birleşmiş Milletler'in 1990-2004 yılları arasında yayınladığı verilere göre ilk sırada yer almıştır. Fakat kirletici gaz salıma oranı % 0,79 ile oldukça düşük bir orana sahiptir (Özek, 2009).

Canlı hayatı açısından ciddi sonuçlar meydana getiren bu gazlar atmosfer tabanında oluşturduğu katman ile güneş ışınlarının geri yansımaya engel olarak sera gazı etkisini meydana getirmektedir. Küresel ısınma dünya sıcaklık değerlerinin artması, kuraklık, mevsim normalleri dışında gelişen olaylar ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca bacalardan salınan kirletici partiküller ve maddeler asit yağmurlarına, su kaynaklarının

kirlenmesine, toprak kirliliğine böylece canlı ve bitki yapılarının bozulmasına ve hatta ölümlerine sebep olmaktadır (Özek, 2009).

Dünyanın yaşanabilirliğini etkileyen ve iklimsel değişikliğe sebebiyet olan bu tip etmenler ile canlı hayatı negatif yönde etkilenmekte ve yaşadığımız dünya tükenip gitmektedir. Bu olumsuz sonuçları ortadan kaldırmak için doğanın sunmuş olduğu ve sürüp giden dengeyi etkilemeyecek enerji kaynaklarına başvurulmalı ve dünya sürdürülebilir bir yaşam alanı haline getirilmelidir. Yaşadığımız dünya bu açıdan ele alındığında doğanın alternatif enerjileri keşfedilmiştir. Temiz olan ve tükenmeyen bu kaynaklar gelişen teknoloji ile ciddi oranda bir talebin oluşmasını sağlamıştır (Bagher, Vahid, & Mohsen, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan güneş, rüzgar, jeotermal ve su kaynaklı enerjiler hızla fosil kökenli kaynakların yerini almaya başlamıştır. Giderek artan güneş tarlaları, rüzgar türbinleri, hidro-elektrik santralleri, jeothermal vb. yatırımlar temiz ve tükenmez olan bu enerji kaynaklarının artan popüleritesini açık bir şekilde göstermektedir. Bu büyük değişim ABD, Çin, Almanya, Rusya gibi gelişmiş ülkelerin yatırımları kontrol edildiğinde net bir şekilde görülebilmektedir. Fosil kaynakların ömürlerinin az kalması ve özellikle gelişmiş ülkelerin kendi sınırları içerisindeki fosil kaynakların ömrünün dünya geneline nazaran ciddi oranda az olması bu ülkelerin yenilenebilir enerji yatırımlarını büyük oranda etkilemiş ve yönlendirmiştir (Url-2).

Dünya Yenilenebilir Enerji raporuna göre 2016 yılı itibariyle Çin, Almanya, Amerika, Japonya, Almanya gibi ülkeler Solar PV toplam kapasitesi açısından ilk beştedirler. Öte yandan 2017 yılındaki ek yatırımlar ile öne çıkan ülkeler ise; Çin, ABD, Hindistan, Japonya ve Türkiye'dir (Url-2).

Küresel iklim değişikliği göz önüne alındığında ülkelerin yenilenebilir enerji kullanımı ve bu yöndeki teknolojik gelişmeler önemli oranda artmıştır. Yenilenebilir enerjinin kullanımı teknolojinin büyük yardımı ile mümkün olmuştur. Özellikle yenilenebilir enerjinin arazi de yaşam alanlarında kullanılabilir oluşu yine teknolojinin yardımı ile mümkün olmuştur. Bu şekilde teknolojik yeniliklerin kentsel bazda yerine oturması ise şehircilik alanında akıllı şehircilik akımının doğmasını sağlamıştır.

Smart City Movement olarak bilinen Akıllı Şehircilik hareketi günümüz şartlarında uygulanan kentlerin birer teknolojik belediye olarak çalışmasını sağlamıştır. Akıllı

sinyalizasyon, rüzgar ve güneş enerjisi destekli akıllı binalar, IoT (Internet of Things/ Nesnelerin Interneti) destekli kent mobilyaları vb. bileşenleri ile öne çıkan akıllı şehir anlayışı günümüz dünyasının önem verdiği başlıklardan biri olmuştur. Akıllı şehirciliğin özellikle kendi kendine yetmesi ilkesi ise yenilenebilir enerji kullanımı için önemli bir örnektir (Weng & Agarhal, 2012)

Hali hazırdaki enerji tercihlerinden ötürü ortaya çıkabilecek olumsuz sonuçlar göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklı şehirleşme ve kendi kendine yeten ve kendini yöneten yaşam birimlerinin oluşturulması, dikkat edilmesi ve üzerine düşülmesi gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Şehirleşmede popülerliği artan akıllı şehircilik, tasarım elemanlarının sahip olduğu özellikler açısından bu durumu sağlamada yardımcı bir güç olarak kendini göstermektedir.

Akıllı şehircilik anlayışı kent elemanları olarak ele alındığında ana bileşeni binalarının, kent mobilyalarının bazıları, çatı ve cephe sistemleri vs. için klasik anlamdaki enerji tercihi yerine güneş enerjisi gibi sürdürülebilir doğal enerji kaynakları ile oluşturulmuş bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu enerji tercihi ile günün tamamında akıllı şehrin akıllı elemanlarında kullanılması çeşitli dönüştürme yöntemlerine başvurularak sağlanmaktadır. Bu yöntemlerin en başında Fotovoltaik sistemler ve güneş pilleri gelmektedir. PV sistemleri batarya barındırmayan ve ihtiyaç duyulan elektriği direk güneşten alan ve güneş olmaması durumunda da şehir şebekesinden satın alan, öte yandan ürettiği elektrik talebin üstünde olduğunda da şehir şebekesine ürettiği elektriği satan bir solar donanımdır. Güneş pili ise herhangi bir şebeke bağı olmayan ayrıca batarya barındıran bir solar donanımdır.

Fosil tabanlı dönüşümsüz enerji kaynaklarının çok yüksek oranlarda kullanımı fosil yakıtların azlığı ve enerji kullanım alanlarının artması ve ithal enerjiye bağımlılığın artması gibi sebeplerden ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim zorunlu hale gelmiştir (Özek, 2009).

Sürdürülebilir enerji kaynaklarının yerine dönüşümsüz ve ithal enerji kaynaklarının tercihi ise hem maliyet açısından hem de kaynakların etkin kullanımı açısından yukarıda geniş şekilde açıklandığı üzere büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak fosil kökenli kaynakların kirleticiliği ile azalan rezervleri dikkate alındığında yaşadığımız dünya yenilenebilir enerji ile tanışmış ve 20. Yy sonları ile

21. Yy. başlarından itibaren güneş, rüzgar ve jeotermal kaynaklardan enerji elde etmeye yükselen bir ivme ile başlamıştır.

Öte yandan ülkemiz güneş kuşağında bulunması sebebiyle güneş enerjisini coğrafi bölgelerinin hemen hemen bütününde kullanabilecek potansiyele sahiptir. Böylece ülkemiz sürdürülebilir yaşamın sağlanabilmesi ve devam ettirilebilmesi için gerekli alternatif enerjiyi dışa bağımlı olmadan elde edebilecek potansiyele sahiptir. Bu potansiyeller göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kullanımını ülke ekonomisi ve kalkınmasına ciddi oranda katkı sağlayacaktır.

Yenilenebilir enerjinin günlük yaşama adapte olması ile ilgili yoğun bir şekilde devam eden çalışmalar bu enerji türünün lokasyon bazlı potansiyelinin öğrenilmesine yönelik yapılan çalışmalardır. Bu bağlamda solar PV potansiyelinin hesaplanmasına yönelik geliştirilen birçok uygulama mevcuttur. Bu uygulamalar konum tabanlı hizmetlerin ve lokal iklim verilerinin kullanıldığı uygulamalar olup masaüstü ve web uygulamaları olarak hizmet vermektedirler. Solar potansiyelin ölçümünde kullanılacak verilerin elde edilmesi için kullanılan masaüstü uygulamaları Coğrafi Bilgi Sistemlerinden faydalanılarak elde edilen veriler olup konum tabanlı çevre, jeomorfoloji ve iklim bilgisine dayalı çalışmaktadırlar. Öte yandan web tabanlı çalışan uygulamalar da lokasyon ve lokal iklim verilerine dayalı çalışarak solar PV sistemleri için gereken verileri sağlamaktadır (Yeşilmaden, 2017).

### **1.1 Tezin Amacı**

Enerji kullanımını günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası olması sebebiyle temin edilmesi zorunlu olunan bir gereçtir. Bu açıdan ele alındığında artan nüfus, gelişen ekonomi, sanayi faaliyetleri vs. gibi alanlarda ihtiyaç duyulan enerji gitgide artan bir ihtiyacın göstergesidir. Böylece enerji üretimi ve kullanım oranları bir çeşit gelişmişliği ve kalkınmayı ifade etmektedir. İnsanlığın ilk zamanlarından itibaren giderek artan enerji ihtiyacı özellikle son yüzyıllarda yüksek seviyelere gelmiştir. Kullanılan bu enerji ise uzun yıllar fosil kökenli kaynaklardan sağlanmıştır. Fosil kökenli petrol, doğalgaz, kömür ve linyit enerjileri rezervleri sınırlı ve hava, su, kara kirliliği ile birlikte canlı hayatında da kötü sonuçlara sebebiyet vermektedir. Fosil kökenli kaynakların sınırlı ömürleri ve çevresel olarak geri dönülemez sonuçlara sebep olmaları itibarıyla yaşam alanlarında ve ekonomik faaliyetlerde kullanılmak üzere alternatif bir enerji kaynağı ihtiyacını doğurmuştur. Yenilenebilir enerji kullanım

kolaylığı, sınırsız ve çevre dostu olmaları ayrıca ekonomik olarak dışa bağımlılığı ortadan kaldıracak olabilmesi itibarıyla birincil tercih olarak karşımıza çıkmaktadır. Yenilebilir ve temiz enerjilerden olan güneş enerjisi ülke potansiyeli ele alındığında muhteşem bir alternatif kaynaktır. Kullanım kolaylığı ve özellikle konut alanlarında bile güvenli bir şekilde kullanılabilir olması güneş enerjisi seçeneğini öne çıkarmaktadır.

Bu çalışmada solar potansiyel verilerinin web tabanlı uygulamalar kullanılarak elde edilmesi ve bu verilerin test uygulaması ile irdelenmesi amaçlanmıştır. Alan çalışmasında İstanbul İli Kadıköy İlçesi Fikirtepe Kentsel Dönüşüm Alanı sınırları içerisinde kalan test yapısında PV (Fotovoltaik) paneller kullanarak üretilen güneş enerjisi potansiyeli incelenmiş ve seçilen binanın enerji ihtiyacı ile karşılaştırılmıştır.

## **1.2 Tezin Kapsamı**

3 ana bölümden oluşan tez çalışması giriş bölümünde tez amacı ve kapsamına değinilmiştir. İkinci kısımda enerjinin tarihsel gelişiminden ve günümüz enerji yönelimine değinilmiştir. Ayrıca Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma kavramları ele alınıp yenilenebilir enerji ile ilişkisine değinilmiştir. Çalışmanın devamında ise Akıllı Şehircilik kavramı irdelenmiş ve yenilenebilir enerji ile akıllı şehirciliğin bir araya geldiği sistem hakkında çalışmalar ele alınmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde Fotovoltaik (PV) Sistemleri tarihsel gelişimi ile ele alınmış ve kentsel tasarımdaki yeri ve önemi irdelenmiştir. Çalışmanın beşinci bölümü uygulamanın hangi metodlarla yapılacağına değinilmiştir.

Tez çalışmasının altıncı bölümünde PV güneş paneli uygulaması yapılacak İstanbul İli Kadıköy İlçesi Fikirtepe Kentsel Dönüşüm Alanında öncelikli olarak alan fiziksel çevre analizleri gerçekleştirilmiştir. Özellikle güneşlenme ve bakı analizleri ile alanın güneşlenme potansiyeli, güneşli gün sayısı ve güneş alma açısı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan analizler ışığında güneş enerjisinde en dikkat edilen nokta olan solar radyasyon verileri dikkate alınarak, alanda uygun bina formu ile maksimum sayıda PV güneş paneli yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan yerleşimler özellikle alanın kış ve yaz güneşlenme çizgileri dikkate alınarak en uygun vaziyette konuşlandırılmış binaların çatı ve cephe yapıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Solar potansiyelin hesaplanmasında web uygulama araçlarına başvurulmuş ve solar ışınım değerleri bu şekilde elde edilip kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Andrew

Marsh (Url-3) ve CM SAF PVGIS (Url-4) web uygulamaları kullanılmış ve bu uygulamalar aracılığıyla test uygulama alanına güneş ışınlarının hangi açılarla geldiği, kurulacak PV panel sisteminde panellerin hangi eğim açıları ile yerleştirileceği, test uygulama yapısında solar radyasyon miktarlarına ve solar radyasyon miktarına bağlı olarak üretilebilecek enerji miktarlarına ulaşılmıştır.

Tez çalışmasının son kısmında ise güneş enerjisi kullanan PV panel sistemlerinin en uygun yerleşim ile ticaret fonksiyonlu yapının cephe ve çatı sistemlerinde kullanılmasına yönelik değerlendirmelere ve PV panel sistemlerinin kullanılması ve yaygınlaştırılmasına ayrıca yenilenebilir enerji kullanımının önemine yönelik önerilere yer verilmiştir.







## 2. ENERJİ KAYNAKLARI ve KULLANIM DURUMLARI

Enerji canlılığın devam edebilmesi için birincil ihtiyaçların başında gelmektedir. Enerji kullanılan çeşitleri ve kullanıldığı alanlar ile farklılık göstermiş ve yüz yıllar içerisinde ciddi değişiklikler geçirerek günlük yaşamda yerini almaya devam etmiştir.

İnsanoğlunun yaşam biçimindeki değişiklikler ve gelişmeler enerji kullanım oranı ve şekillerinde de önemli değişimleri beraberinde getirmiştir. Göçebe hayatın yerini yerleşik hayatın alması, avcılık toplayıcılık faaliyetlerinin yerini tarım toplumunun alması, öte yandan tarıma ve hayvancılığa dayalı yönetim ve yaşam biçimlerinin yerini sanayinin alması gibi bin yılları kapsayan değişimler tercih edilen enerji kaynakları ve bunların kullanım oranları ile birlikte kullanım alanlarının da çeşitliliğinin artması gibi sonuçları doğurmuştur (Özek, 2009).

Ateşin keşfi ile odun ısınma, yemek pişirme, aydınlatma ve savunma aracı olarak kullanılmış ve insan yaşamı için önemli bir konuma yükselmiştir.

Öte yandan su kaynakları, rüzgar ve güneş gibi enerji kaynakları da insanlığın ilk dönemlerinden itibaren yaşamın önemli noktalarında yer almışlardır. Yaşamın her döneminde önemli bir konumda olan enerji medeniyetlerin genişlemesi ve gelişmesi ile ciddi değişiklikler geçirmiştir.

Nüfus artışı, kentsel bölgelerdeki faaliyetlerin değişimi ayrıca demirin icadıyla birlikte odun kömürü kullanımı ciddi oranda artması gibi sebeplerden ötürü ormanlık alanların azalmasına neden olmuştur. Keşif ve araştırma faaliyetleri ile maden kömürü keşfedilmiş ve odun kömürünün yerini almasını sağlamıştır. Buhar makinesinin icadı ile endüstri alanında ciddi bir ilerleyiş kaydedilmiş ve bu ilerleyiş beraberinde endüstri şehirlerini ve çok sayıda fabrikaları getirmiştir. Fabrikaların sayısının artması, endüstri şehirlerinin artması yoğun bir iş gücü ve enerjiyi gerektirmiştir. Artan insan gücü ile üretim artmış ve maden kömürü kullanımı seviyesi had safhalara çıkmıştır.

19. yy artan nüfus ve üretim ile maden kömürünün yanında başka bir fosil kaynağı olan petrol kullanımını getirmiştir. Kömüre nazaran taşıma ve çıkarma açısından daha kolay bir şekilde elde edilen petrol yükselen bir ivme ile kullanılmaya devam etmiştir.

Öte yandan teknolojik faaliyetlerin en önemli adımı olarak kabul edilen elektriğin bulunması da bu döneme denk gelmektedir. Elektrik enerjisi ilk olarak aydınlatma amaçlı kullanılmış fakat makineleşme ile kullanım sahası genişlemiştir. Enerji ihtiyacı ve kullanımı 20.yy ile birlikte geniş alana yayılmış ve özellikle elektrik enerjisinin insanoğlunun yaşamına girmesiyle birlikte büyük bir değişime uğramıştır. Makinelerin insan hayatında önemli bir yere sahip olması elektrik enerjisi kullanımında ciddi oranda bir artışı beraberinde getirmiştir. 20. Yy. birçok alanda önemli değişimlerin meydana geldiği ve bu anlamda önemli adımların atıldığı bir yüz yıl olmuştur ve ortalarına doğru artan elektrik enerjisi ihtiyacına paralel olarak gelişen nükleer teknoloji bu önemli gelişmelerdendir.

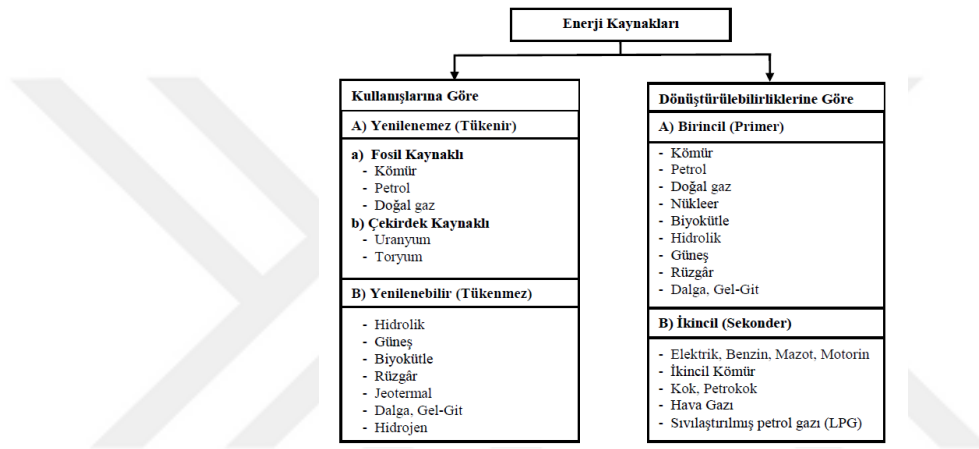
Petrolün vazgeçilemez bir enerji kaynağı olması ile özellikle dünya devi ülkelerin ekonomi planlarında yatırımlarının büyük çoğunluğu bu kaynağa göre ayarlanmıştır. Ulaşım araçlarının petrol türevi kaynakları kullanan sistemler ile tasarlanması, ülkelerin ticari adımlarının ve planlarının petrol kontrolünü ele alma eksenli olması dünyayı petrole bağımlı hale getirdiğinin en büyük göstergesidir. Bir başka fosil kaynak olan doğalgaz da aynı dönemlerde kullanılmaya başlanmış ve kullanımı giderek artan bir kaynak olmuştur. Enerjiyi kontrol eden ülkelerin fosil kaynakların yönetimi ve üretiminden büyük bir ekonomik gelir elde etmişlerdir (Özek, 2009).

20.yy. sonu ile birlikte fosil kökenli kaynakların tercih edilmeden enerji ihtiyacının karşılanması fikri birçok adımın atılmasını sağlamıştır. Rüzgar, güneş, jeotermal kaynaklar gibi yenilenebilir enerji kaynakları 21.yy ile birlikte ortaya çıkan çevre koruma ve enerjinin sürdürülebilirliği bilinci ile birlikte yaygın olarak tercih edilmişlerdir. Yenilenebilir enerji potansiyeli uluslararası ölçekte üzerine gidilen ve birçok araştırmaya konu olan bir başlık olmuştur. 2006 yılında Avustralya'da gerçekleştirilen G-20 Zirvesi enerji ve ham madde ihtiyacının ekonomik büyüme, gelir seviyelerindeki artış, sanayileşmenin giderek genişlemesi, yoğun nüfus artışı gibi sebeplerden ötürü ciddi oranda artış göstereceği yönünde konuların ele alındığı bir zirve olmuştur. Böylece uluslararası arenada enerji konusunun büyük problemlere sebep olabileceği net bir şekilde ortaya konmuştur (Kunt, 2008).

Enerjinin bu kadar önem arz etmesi sınırlı fosil kaynakların yerine yenilenebilir kaynak kullanımına yönelimi hızlandırmıştır. Ülkemiz bu açıdan ele alındığında yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli oldukça yüksektir. Güneş kuşağında olan Türkiye henüz bu potansiyelini gerektiği oranda kullanamamaktadır. Öte yandan

enerjide %73 oranında dışa bağımlı olan Türkiye rezerv sıkıntısından dolayı ciddi bir enerji açığı ile karşı karşıyadır (Özek, 2009).

Enerji ihtiyacı artan bir şekilde devam etmekte ve buna paralel olarak enerji koruma ve çevre politikaları aynı hızda ilerlememektedir. Enerjinin önemli bir ihtiyaç olması uluslararası ölçekte adımların atılmasını ve ortak kararlar alınmasını gerektirmektedir. Enerji kaynakları üç başlıkta incelenebilir, bunlar şu şekildedir: Fosil kökenli yenilenemeyen enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve diğer kaynaklardır. Enerji kaynakları sınıflandırması oldukça geniş bir konudur. Genel olarak enerji kaynak sınıflandırması Şekil 2.1’ de gösterilmiştir (Kunt, 2008).



Şekil 2.1 : Enerji kaynak sınıflaması.

Çizelge 2.1’de birincil enerji tüketiminin 2007-2017 yılları arasındaki ülkelere göre değerleri gösterilmektedir. Bu bağlamda tüketim açısından ABD, Rusya Federasyonu, Çin, Hindistan, Japonya, Almanya ve Kanada gibi ülkeler oldukça yüksek değerlere sahip olup enerji tüketim yüzdesinde büyük payı oluşturmaktadırlar. Dünya birincil enerji tüketim büyüme yüzdesi 2016 yılında % 1,2 iken, 2013'ten bu yana en yüksek seviyeye ulaşmış, 2017 yılında % 2,2 oranında büyümüştür. Büyüme, Asya Pasifik, Orta Doğu ve Güney ve Orta Amerika’da ortalamanın altında olmuştur. Fakat diğer bölgelerde ortalamanın üzerinde büyüme görülmüştür. Kömür ve hidroelektrik dışındaki tüm yakıtlar ortalama civarında oranlarda büyüme göstermişlerdir. Doğal gaz, enerji tüketimi için 83 milyon ton petrol eşdeğeri (mtep) ile en büyük artışı sağlamış, bunu yenilenebilir enerji (69 mtep) ve petrol (65 mtep) takip etmiştir (Url-1).

**Çizelge 2.1 : Birincil enerji kaynak tüketimleri, ülke ve yıllara göre.**

<b>MTEP</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>ABD</b>	2320,8	2267,9	2159,3	2235,6	2216,7	2161,0	2221,1	2246,2	2227,0	2228,0	2234,9
<b>Kanada</b>	321,4	320,7	303,7	310,5	323,2	319,9	331,5	335,4	331,1	339,0	348,7
<b>Brezilya</b>	229,6	240,3	238,9	263,6	276,6	283,5	294,3	301,8	299,1	293,0	294,4
<b>Fransa</b>	260,2	261,9	248,0	256,0	247,2	247,4	250,3	240,6	242,3	238,9	237,9
<b>Almanya</b>	331,9	335,5	315,0	328,7	317,0	321,3	330,7	317,2	323,3	328,2	335,1
<b>Rusya Fed.</b>	673,1	676,6	644,6	668,2	691,7	694,7	683,9	689,6	676,8	689,6	698,3
<b>Türkiye</b>	100,4	100,8	102,2	107,7	115,1	122,3	121,6	125,6	137,5	144,4	157,7
<b>Çin</b>	2150,3	2231,2	2329,5	2491,3	2690,1	2799,1	2907,0	2973,5	3009,8	3047,2	3132,2
<b>Hindistan</b>	450,4	476,3	512,0	538,0	570,7	600,3	623,6	666,8	686,9	722,3	753,7
<b>Japonya</b>	524,4	516,9	472,3	503,8	477,8	475,0	471,3	456,7	453,0	451,2	456,4
<b>üney Kore</b>	236,7	241,2	242,3	259,7	273,0	276,3	276,7	279,3	284,9	292,2	295,9
<b>OECD</b>	5693,9	5639,3	5367,8	5574,9	5519,4	5463,5	5525,8	5481,1	5494,6	5549,8	5605,0
<b>Non-OECD</b>	5894,5	6099,3	6182,1	6544,6	6895,0	7125,5	7303,4	7472,8	7565,6	7708,7	7906,1
<b>AB</b>	1823,9	1816,5	1711,3	1774,7	1716,6	1700,8	1690,7	1626,7	1649,2	1666,4	1689,2
<b>Toplam</b>	11588,4	11738,5	11549,9	12119,4	12414,4	12589,0	12829,3	12953,9	13060,2	13258,5	13511,2

Çizelge 2.1' de birincil enerji tüketiminin 2007-2017 yılları arasındaki ülkelere göre değerleri görülmektedir. Tüketim açısından ABD, Rusya Federasyonu, Çin, Hindistan, Japonya, Almanya ve Kanada gibi ülkeler oldukça yüksek değerlere sahip olup enerji tüketim yüzdesinde büyük payı oluşturmaktadırlar. Dünya birincil enerji tüketim büyüme yüzdesi 2016 yılında % 1,2 iken, 2013'ten bu yana en yüksek seviyeye ulaşmış, 2017 yılında % 2,2 oranında büyümüştür. Büyüme, Asya Pasifik, Orta Doğu ve Güney ve Orta Amerika'da ortalamanın altında olmuştur. Doğal gaz, enerji tüketimi için 83 milyon ton petrol eşdeğeri (mtep) ile en büyük artışı sağlamış, bunu yenilenebilir enerji (69 mtep) ve petrol (65 mtep) takip etmiştir (Url-1).

## 2.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Fosil kökenli kaynaklar olarak adlandırılan yenilenemeyen enerji kaynakları zaman içerisinde biriken hayvansal ve bitkisel atıkların çeşitli koşullar altında binlerce yıl boyunca bir arada bulunması ile oluşmuşlardır. Toprak altında kalan bu atıklar basınç ve yüksek sıcaklıklar etkisiyle fosilleşirler. Yenilenemeyen enerji kaynakları taş kömürü ve linyit kömürü çeşitleri ile kömür, petrol ve doğalgaz olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu enerji kaynakları katı sıvı ve gaz formları ile doğadan elde edilmektedirler (Ağaçbiçer, 2010).

2030 yılı projeksiyonuna göre yapılan araştırmalar kömür rezervlerinin %25'inin, petrol rezervlerinin %85'inin ve doğalgaz rezervlerinin ise %65'inin tükeneceğini göstermiştir. Yıl olarak ifade edilirse en çok tercih edilen kömür 230 yıllık bir rezerve, petrol 41 yıllık bir rezerve, doğalgaz ise 62 yıllık bir rezerve sahiptir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarından bir diğeri ise nükleer enerji kaynaklarıdır. Kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil kökenli kaynakların maliyetli oluşu ayrıca artan nüfus, büyüyen ekonomik faaliyetler ile enerjiye olan ihtiyacın artması ile nükleer enerjiye ilgi de artmıştır (Ağaçbiçer, 2010). Nükleer enerjiden yararlanmada Amerika, Fransa, Çin, Rusya, Güney Kore ve Kanada gibi ülkeler öne çıkmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri nükleer enerji tüketim açısından dünyada en yüksek kullanım oranına sahip ülkedir (Url-1).

Fosil kökenli enerji kaynak kullanımı enerji tüketiminde ön sırada olan ülkelerde oldukça yüksek bir paya sahiptir. Bu ülkelerin başında Çin, Amerika, Rusya Federasyonu gelmektedir. Çin'nin toplam enerji ihtiyacının %93'ü fosil kökenli kaynaklar ile sağlanmaktadır. Öte yandan Amerika Birleşik Devletleri enerji

ihtiyacının %91'ini, Rusya Federasyonu da %94'ünü fosil kökenli kaynaklar aracılığıyla karşılamaktadır (Ağaçbiçer, 2010).

Birincil enerji tüketimi 2000 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun son yüz yıl içinde dört kat arttığı fakat enerji ihtiyacının on katına çıktığı gözlemlenmiştir. Geçen bu yüz yıl içinde dünya nüfusu 1000 mtep civarında bir enerjiye ihtiyaç duyarken, yüz yıl sonunda bu ihtiyaç on katına çıkarak 10000 mtep olarak hesaplanmıştır. İhtiyaç duyulan bu enerjinin %90'ı ise fosil kökenli petrol, doğalgaz ve kömürden, diğer %10'luk bölümü ise hidrolik ve nükleer enerji grubundan sağlanmıştır. Dünya kömür tüketimi, 105 milyon ton petrol eşdeğeri ya da % 3.2 oranında artmış, 2011'den bu yana en hızlı büyüme oranı olmuştur. Üretim, Çin'de 56 mtoe ve ABD'de 23 mtoe artmıştır. Küresel kömür tüketimi ise, 2013'ten bu yana ilk artış olan 25 mtoe veya % 1 oranında artmıştır. Büyüme, büyük ölçüde Hindistan (18 mtoe) tarafından gerçekleştirilmiş olup, Çin tüketimi de 2014-2016 döneminde art arda üç yıllık düşüşün ardından biraz artmıştır (4 mtoe). OECD ülkelerindeki talep ise art arda dört yıl düşüşe geçmiştir (-4 mtoe) (Ağaçbiçer, 2010).

2007-2017 yılları arası ülkelerin petrol üretim değerleri gün-varil birimi üzerinden verilmiştir (EK A Çizelge A.1). EK A Çizelge A.1'e göre Suudi Arabistan, Rusya Federasyonu ve ABD petrol üretiminde oldukça yüksek değerlere sahiptir. Bu ülkeleri Kanada, Irak, İran, Çin ve Birleşik Arap Emirlikleri gibi ülkeler takip etmektedir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütüne bağlı olmayan ülkeler petrol üretiminde yüksek bir paya sahiptir.

Petrol tüketim oranları açısından ülkelerin 2007-2017 yılları arası değerleri EK A Çizelge A.2'de görüldüğü üzere ABD ve Çin'in oldukça yüksek değerlere sahip olduğu bir dağılımdadır. Petrol tüketiminde Türkiye 48,8 mtep gibi bir değere sahip olup en yoğun tüketim yapan ülkelerin oldukça gerisindedir.

Bir diğer fosil enerji kaynağı ise doğalgazdır. Kömür rezervleri açısından oldukça zengin olan ülkemiz doğalgaz açısından aynı zenginliğe sahip değildir. Türkiye birincil enerji tüketiminde 157,7 milyon ton eşdeğer petrol oranında enerjisinin yüksek bir bölümünü doğalgazdan karşılamaktadır. Bu yüzden ülkemiz toprakları içerisindeki doğalgaza ek olarak ithal doğalgaz ihtiyacı olduğu için enerjide dışa bağımlılık zorunlu hale gelmiştir (Özek, 2009).

Artan doğalgaz tüketimi kaynağın çevre duyarlılığının diğer kaynaklara nazaran daha az olmasıyla da ilişkili olup 1997'de 169 ülkenin katılımıyla Japonya'nın Kyoto

şehrinde imzalanan Kyoto Protokolünün (Url-5) sera gazı salınımını sınırlandırmaya ve azaltmaya yönelik kararların ilk adımları atılmıştır. Kyoto Protokolü Küresel Isınma ve İklim Değişikliği hususunda uluslararası mücadeleyi sağlamak adına belirlenmiş çerçevenin uygulamaya konulmuş şeklidir ve geçerliliği devam etmektedir.

Doğalgaz üretiminde (EK A Çizelge A.3) 2017 verilerine göre Dünya toplam üretimi 3164,6 milyon ton petrol eş değeridir. Bu üretimin %16'sı Çin'in de içinde bulunduğu Asya-Pasifik bölgesinde, %22'si Rusya Federasyonu'nun da içinde bulunduğu Bağımsız Devletler Topluluğunda (CIS-Commonwealth of Independent States), %17'si İran ve Katar'ın da aralarında bulunduğu Orta Doğu Bölgesinde ve en önemli yüzdesi %26 ile ABD ve Kanada'nın bulunduğu Kuzey Amerika bölümüne aittir (Url-1).

EK A Çizelge A.4'de 2007-2017 yılları arasındaki doğalgaz tüketimini mtep bazlı değerleri göstermektedir. ABD, Rusya ve Çin doğalgaz tüketiminde oldukça yüksek oranlara sahip olup toplam doğalgaz tüketiminde örneğin 2017 yılına göre %40'lık tüketime sahiptir. Dünya toplam doğalgaz tüketiminin %21'ini Çin ve Japonya'nın da aralarında bulunduğu Asya-Pasifik Bölgesi, %15'ini İran'ın da aralarında bulunduğu Orta Doğu Bölgesi, %15'ini Rusya Federasyonu'nun aralarında bulunduğu Bağımsız Devler Topluluğu, %14'ünü Türkiye'nin de aralarında bulunduğu Avrupa oluşturmaktadır.

## **2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji kaynakları alternatif enerji kaynakları olarak adlandırılıp tükenmeyen enerjiler olarak bilinmektedirler. Bu enerji kaynakları güneş enerjisi, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biokütle (canlı kütle) enerjisi ve dalga enerjisi olarak birçok çeşidi barındırmaktadır. Çizelge 2.2'de yenilenebilir enerji kaynak türlerinin kullanım yüzdeleri verilmiştir (Url-6).

**Çizelge 2.2 : 2016 yılı toplam enerji tüketiminde yenilenebilir kaynak payı.**

<b>Enerji Türü</b>	<b>Oran (%)</b>
<b>Fosil Yakıtlar</b>	%79,5
<b>Nükleer Enerji</b>	%2,2
<b>Geleneksel Biyokütle</b>	%7,8
<b>Modern Yenilenebilir Enerji (Rüzgar, Güneş, Biyokütle, Jeotermal, Okyanus)</b>	%1,7
<b>Ulaşım Amaçlı Bio yakıtlar</b>	%0,9
<b>Hidro Enerji</b>	%3,7
<b>Biyokütle, Güneş, Jeotermal Isıtma</b>	%4,1

Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere toplam enerji tüketiminin %79,5 gibi yüksek bir oranı 2016 yılı itibariyle fosil kökenli kaynaklardan sağlanırken, %10,4’lük kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji son 10 yılda gerçekleşen teknolojik gelişmeler ve yatırımlar ile gelişmeye devam etmiştir. Sektöre Göre Toplam Nihai Enerji Tüketiminde Yenilenebilir Enerji miktarları Çizelge 2.3’ de verilmiştir.

**Çizelge 2.3 : Sektöre göre toplam nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji (Url-6).**

<b>Sektör</b>	<b>Isıtma</b>	<b>Ulaşım</b>	<b>Güç</b>
<b>Tür/Oran (%)</b>	%48	%32	%20
<b>Yenilenebilir Enerji Payı</b>	%27	%3	%25
<b>Yenilenebilir Enerji Türüne göre Oran (%)</b>			
Geleneksel Biyokütle	%16.4	Bio Yakıt %2.8	Yenilenebilir Elektrik %25
Isıtma için yenilenebilir elektrik	%1.9	Yenilenebilir Elektrik %0.3	
Elektrik dışında modern yenilenebilir enerji kaynakları	%8.4		

Küresel Yenilenebilir güç kapasitesi 2007-2017 yılları arasında giderek artan bir ivme izleyip 2017 yılı itibariyle toplamda 2,195 Gigawatt’lık bir değere ulaşmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmada dünya oldukça çekişmeli bir düzleme sahiptir. Özellikle teknolojik materyal temini kullanımı olmadan maliyeti düşmeyecek ya da kullanımı oldukça güç olacak kaynaklar için enerji sektörü dışında bilimsel mecralarda da ciddi çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Özellikle Solar PV teknolojisi ve biofuel ve rüzgar enerjisinde gerçekleştirilen çalışmalar öne çıkmakta ve birçok kişi bu alanlarda çalışmaktadırlar (Url-6). Çizelge 2.4 ile ülke ve teknolojiye göre yenilenebilir enerji alanında tahmini çalışan sayısı verilmiştir.



**Çizelge 2.4 :** Ülke ve teknolojiye göre yenilenebilir enerjide tahmini doğrudan ve dolaylı çalışan (Url-6).

<b>Enerji</b>	<b>Dünya</b>	<b>Çin</b>	<b>Brezilya</b>	<b>ABD</b>	<b>Hindistan</b>	<b>Japonya</b>	<b>Almanya</b>	<b>Avrupa T.</b>
				<b>Çalışan/Bin</b>				
<b>Solar PV</b>	3,365	2,216	10	233	164	272	36	100
<b>Sıvı Biyoyakıt</b>	1,931	51	795	299	35	3	24	200
<b>Rüzgar</b>	1,148	510	34	106	61	5	160	344
<b>Solar Termal</b>	807	670	42	13	17	0,7	8,9	34
<b>Isıtma/Soğutma</b>								
<b>Katı Biyokütle</b>	780	180		80	58		41	389
<b>Biyogaz</b>	344	145		7	85		41	71
<b>Hidroelektrik</b>	290	95	12	9,3	12		7,3	74
<b>Jeotermal Enerji</b>	93	1,5		35		2	6,5	25
<b>CSP</b>	34	11		5,2			0,6	6
<b>Toplam</b>	8,829	3,880	893	786	432	283	332	1,268

Yenilenebilir enerji yaygınlığının artırılması, ulusal enerji güvenliği ve ekonomik büyümenin artırılması, işlerin yaratılması, yeni endüstriler geliştirilmesi, emisyonların ve yerel kirliliğin azaltılması ve herkes için ekonomik ve güvenilir enerji sağlanması dahil olmak üzere birçok politika hedefine katkıda bulunmaktadır. 2017 yılında, dünyanın dört bir yanından 25 C40 üye şehir, 2050 yılına kadar net-sıfır emisyonlarına ulaşmak için hedefler belirlemişlerdir.

Biyokütle enerjisi (biyoenerji) yenilenebilir enerji kaynaklarından olup bir dizi farklı işlem kullanılarak biyolojik kaynaklı geniş bir dizi hammaddeden üretilir. Biyokütle enerjisi toplam enerji tüketiminde %12,8 gibi bir orana sahip olup bu oran içerisinde %0,4'lük oran elektriğe, %0,9'luk oran ulaşım, %1,4'lük oran bina ısıtmasına, %7,8'lik oran geleneksel bina ısıtmasına ve %2,2'lik oran da endüstri ısıtmasına aittir (Çizelge 2.5)

**Çizelge 2.5 :** Toplam kesin enerji tüketiminde biyoenerji payları, genel ve son kullanım sektörü, 2016 (Url-6).

<b>Enerji Türleri</b>	<b>Biyokütle</b>	<b>Biyokütle Olmayan</b>
<b>Toplam İçindeki Oran (%)</b>	%12.8	%87.2
<b>Biyokütle İçindeki Türler göre Oran</b>		
<b>Isıtma, Bina (Geleneksel)</b>	%7.8	X
<b>Isıtma, Sanayi</b>	%2.2	X
<b>Isıtma, Bina (Modern)</b>	%1.4	X
<b>Ulaşım</b>	%0.9	X
<b>Elektrik</b>	%0.4	X

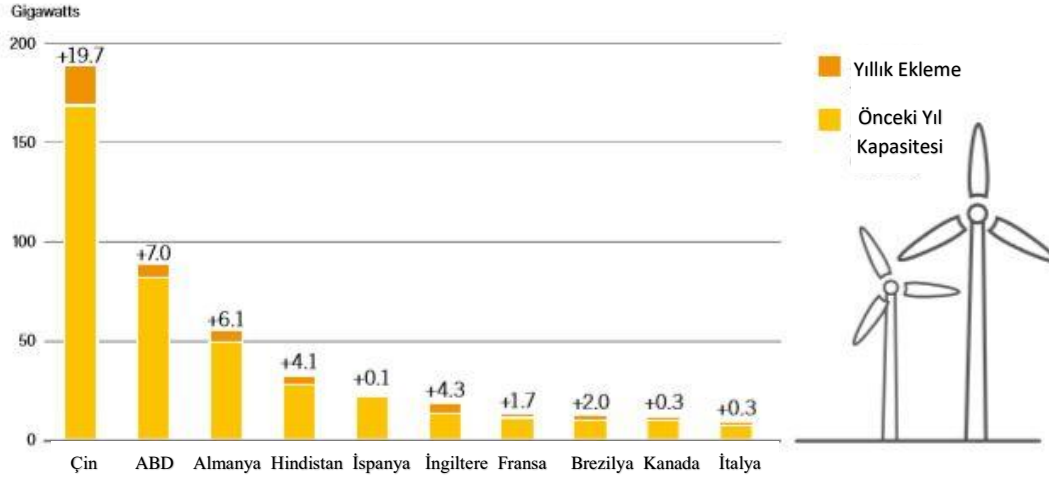
Yenilenebilir kaynaklardan biri olan jeotermal enerji kaynakları yer kabuğu altına çeşitli şekillerde giren suyun magma tabakasından elde ettiği ısı ile oluşan ve içerisinde çeşitli mineral, gaz ve tuz bulunduran sıcak buhar ve sıvılardır. Jeotermal enerji kaynakları sıcaklıklarına göre çeşitli alanlarda özel olarak kullanılmaktadır (Ağaçbiçer, 2010). Jeotermal kaynaklar fosil kökenli kaynaklar gibi yayılmış bir dağılıma sahip olup özellikle genç volkanik kuşaklarda, tektonik olarak aktif olan bölgelerde yüksek oranda bulunmaktadır. Türkiye Alp-Himalaya Jeotermal Enerji Kuşağında yer alıp oldukça yüksek bir jeotermal potansiyeline sahiptir (Kunt, 2008).

Endonezya % 39 ve Türkiye % 34 ile en yüksek jeotermal potansiyele sahip olup tüm dünya için yıl boyunca yeni kapasitenin dörtte üçünü oluştururlar. Türkiye'nin en büyük jeotermal kuruluşu, 2017 yılında hizmete giren Kizildere III'ün ilk birimi olup 99,5 MW kapasiteye sahiptir. Tamamlanan tesis Türkiye'nin en büyük jeotermal enerji santrali (165 MW) olmuştur. Ülkenin son jeotermal tesisi 2017 yılında 33 MW Melih tesisi olmuştur. Türk jeotermal sektöründeki büyüme, on yıldan fazla bir süre önce

yürürlüğe giren destekleyici politikalara sahne olmuştur. 2017 yılında elektrik talebinin % 2.1'ini jeotermal enerji ile karşılamıştır. 2017 yılı itibariyle yılsonunda, Türkiye'nin inşaatı devam eden 271 MW'lık bir ek ve ayrıca 527 MW'lık geliştirme aşamasında jeotermal tesisi olması planlanmaktadır (Url-6).

Hidrojen enerjisi yenilenebilir bir diğer kaynak olup modern enerji üretim yöntemlerinden biridir. Hidrojen birincil enerji kaynaklarından ve su kaynaklarından elde edilebilmektedir. Hidrojen enerji üretimi küresel ölçekte 500 milyar m<sup>3</sup>'lük bir değere sahiptir ve bu oranın %20'si Avrupa'ya aittir (Ağaçbiçer, 2010). Türkiye hidroelektrik kapasitesi küresel ölçekte % 2.5 oranındadır. Türkiye, 2017 yılında hidroelektrik kapasitesini 0,6 GW artırıp toplam kurulu gücün 27.3 GW'a çıkmasını sağlamıştır. Buna rağmen, Türkiye'de hidroelektrik üretimi 2017 yılında% 12,7, ciddi kuraklık nedeniyle 58,5 TWh'ye geriledi (Url-6).

Rüzgar enerjisi bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olup güneş radyasyonunun yüzeyi farklı oranlarda ısıtması sonucu meydana gelen farklı hava sıcaklığı, nemi ve basıncı ile oluşan rüzgardan elde edilmektedir. Pürüzlü yüzey olarak adlandırılan ağaç, bina, yüzey engebeli şekilleri ile kaplı alanlar rüzgar enerjisinin faydalanabilir seviyelerde olmasına engel olmaktadır (Ağaçbiçer, 2010). Rüzgar enerjisinde önde gelen ülkeler ise: ABD, Kanada, Türkiye, İngiltere, Çin, İtalya, Hindistan, Fransa Avustralya gibi ülkelerdir. Şekil 2.2 de rüzgar gücü kapasitesi ve eklemeleri en iyi olan 10 ülke gösterilmiştir. Türkiye'nin 2017 kapasite artırımını 2016'nın yaklaşık yarısı kadar olmuş, ancak ülke yine yeni kapasite açısından ilk 10 arasında yer alamamıştır ve yaklaşık 0,8 GW'yi ekleyerek toplamda 6.9 GW'ya ulaşmıştır. Rüzgar enerjisi açık deniz kurulumları ile de sağlanmaktadır. Bu anlamda öne çıkan bölge Avrupa olmuştur. 2017 yılı itibariyle açık deniz (offshore) rüzgar kurulumunda toplamda 4,3 GW'lık bir enerji elde edilmiştir.



**Şekil 2.2 :** Rüzgar gücü kapasitesi ve eklemeleri, en iyi 10 ülke, 2017 (Url-6).

Güneş enerjisi bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olup insanoğlunun ilk zamanlarından beri yararlandığı bir kaynaktır. Özellikle fosil kökenli kaynakların ekosistem ve canlı hayatını tehlikeye atması sebebiyle alternatif enerjiye yönelim artmış bu anlamda güneş enerjisine olan ilgi giderek önem kazanmıştır. Yer yüzeyine ulaşan güneş ışınım şiddeti güneşteki değerinin 75000’de biridir. Bir yılda dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisi bugüne kadar kanıtlanmış fosil yakıt rezervlerinin neredeyse 160 katı kadardır (Özek, 2009).

2017 yılı itibariyle mevcut PV sistemlerine eklenen kapasite nükleer net kapasite ve fosil yakıtların üzerinde olmuştur. Küresel olarak 2017 yılında solar PV kapasitesi 98 GW artmıştır ve toplam kapasite yaklaşık 402 GW’a yükselmiştir. Ortalama olarak, yılın her bir saatinde 40.000’den fazla güneş paneli eşdeğeri kurulmuştur (Url-6). Sektördeki ilk beş büyük pazar Çin, ABD, Hindistan, Japonya ve Türkiye olup yeni kurulan kapasitenin %84’ünü kapsamaktadır. Bu ülkelerden sonra Almanya, Avustralya, Kore, Birleşik Krallık ve Brezilya’dır. Kişi başına güneş PV kapasitesi ele alındığında lider ülkeler Almanya, Japonya, Belçika, İtalya ve Avustralya’dır (Url-6). Türkiye yengeç dönencesinde yer alıp 36° ve 42° kuzey enlemleri aralığında olması itibariyle güneş enerjisinden avantajlı olan Güneş Kuşağındadır. Türkiye yıllık güneşlenme süresi 2640 saat ( günlük 7 saat ortalaması ile yıl içinde 3 saat-8 saat arasında değişim göstermektedir) olup, ortalama toplam ışınım (solar radiation) şiddeti ise 1311 KWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 KWh/m<sup>2</sup>)’dır. Türkiye bütün bölgeleri açısından güneşten yararlanmada oldukça yüksek potansiyel dağılımına sahiptir. Özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülke içi en yüksek potansiyeli

barındıran bölgelerdir. Türkiye genelinde temmuz ayı en yüksek güneşlenme oranına sahipken, aralık ayı da en düşük güneşlenme oranına sahiptir (Ağaçbiçer, 2010).

2017 itibariyle solar PV sistemlerinde önde gelen ülkelerin toplam kapasite içerisindeki yüzdeleri şu şekildedir: Çin % 54 ile en yüksek paya sahiptir. ABD %10,8 ile, Hindistan %9,3 ile, Japonya %7,1 ile öne çıkmaktadır. Ayrıca genel içerisinde Çin, ABD, Hindistan ve Japonya'dan sonra en yüksek yüzdelerle sahip ülkeler Türkiye %2,7, Almanya %1,7, Avustralya %1,3, Kore Cumhuriyeti %1,2, Birleşik Krallık %0,9 ve Brezilya %0,9'dır (Url-6).

2017 yılında, solar PV üretimi Honduras'ta toplam üretimin % 10,3'ünü oluştururken, İtalya'da % 8,7, Yunanistan'da % 7,6, Almanya'da % 7 ve Japonya'da % 5,7 yi oluşturmaktadır. 2017'nin sonunda, Çin ve Hindistan dahil olmak üzere en az 22 ülke, toplam yıllık elektrik talebinin % 2'sini ve daha fazlasını karşılayacak kadar solar PV kapasitesine ulaşmıştır ve dünya çapında yıllık 494 TWh elektrik üretmek için yeterli kapasite varlığı sağlanmıştır (Url-6).



### 3. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA ve AKILLI ŞEHİRCİLİK

Üzerinde yaşanılan Dünya içerisinde yaşamın devam ettirilebilmesi için organik ve inorganik maddelerden meydana gelen bir sistemler bütünü barındırmaktadır. Bu sistemler bütünü bir denge içerisinde sağlıklı bir şekilde hayatini devam ettirmektedir. Birçok canlının ihtiyaçlarını içerisinde bulunduran bu sistemler bütünü kullanım ve geri dönüşüm döngüsü ile yol almaya devam edecek bir dizayna sahiptir. İnsan bu düzen içerisinde karar verip uygulamaya koyma açısından birçok canlının lideri konumundadır.

İnsan geçmişten günümüze kadar tecrübe ettiği yaşam şekillerinde gün içerisinde doğayı kullanma şekilleri de büyük değişimlere uğramıştır. Günümüzde gelinen noktada kent kullanıcısı olan insan bu gelişim ve dönüşüm sürecinde aktif rol olarak tercihlerinden ötürü bugünün dünyasını şekillendirmiştir.

Sanayi Devrimi, üretimin artması, nüfus artışı vs. gibi sebeplerden ötürü enerji kaynaklarının kullanımı kontrolsüz bir şekilde devam etmiş ve bir rekabet ortamının doğmasına sebep olmuştur. Bu kontrolsüz ve plansız enerji kullanımı, özellikle gelişmiş ülkelerin aşırı rekabetçi ortamdan en yüksek oranda fayda ile çıkmaya çalışması, uluslararası ölçekte bir yaptırımın olmaması ve ayrıca ekosistemin dengesine verdiği zarar ile ilgili yeterli bilimsel çalışmaların yapılmamış olması sebep olmuştur. Bu konuda son 40 yıldır yoğun araştırmalar yapan bilim adamları bu kısır döngünün birincil suçlusu konumuna gelişmiş devletleri oturtmaktadır (Url-7).

Bu bağlamda enerjinin kısıtlı oluşu ve gelecek düşünülmeden kaynakların plansız bir şekilde tüketimi farklı kavramların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Sürdürülebilirlik ve buna bağlı sürdürülebilir kalkınma kavramları enerji kullanımı, gelecek ve bu ikisi arasındaki etkileşimin sağlanması ilkeleri ile ortaya çıkmıştır. Günümüzde sık olarak kullanılan Sürdürülebilirlik kavramı ilk olarak 1982 yılında Dünya Doğayı Koruma Birliği ( IUCN) tarafından kabul edilmiş olan Dünya Doğa Şartı belgesinde yer etmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Sürdürülebilir kalkınma kavramları tanım açısından net bir düzleme oturmamakla birlikte gün geçtikçe farklı tanımlamalara da sahip olmaktadır (Url-7).

### 3.1 Sürdürülebilir Kalkınma

Sürdürülebilir kalkınma sürdürülebilirlik kavramına göre daha yeni bir kavram olup ekonomik ve teknolojik gelişmeler ışığında doğup kullanılmaya başlanan bir kavramdır. Ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan birçok alanda kullanılabilen sürdürülebilir kalkınma, ihtiyaçlar karşılanırken günümüz ve gelecek kuşaklar arasındaki kullanım dengesinin sağlanması olarak basit bir şekilde tanımlanabilmektedir (Şanlı & Armağan , 2017).

Sürdürülebilir kalkınma kavramına 1987' de yayınlanan Birleşmiş Milletlerin Ortak Geleceğimiz: Brundlant adlı raporunda geniş bir şekilde yer verilmiş ve tanımlama açısından döneminde oldukça faydalı olmuştur. Bu yeni kavramın hangi anlamda kullanıldığı ve ne ifade ettiği hususunda bu rapor önemli bir rol oynamakla birlikte nasıl bir yol izleneceği ile ilgili de oldukça faydalı olmuştur. Brundlant Raporunda sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden, günümüzün ihtiyaçlarını karşılayabilmesini sağlamak olarak tanımlamıştır ( Brundlant Raporu, 1987). Sürdürülebilir Kalkınma kavramı bir diğer yönden kullanılan enerji kaynağının değişimi ve yıkıcı etkilerinin ortadan kaldırılmasını sağlayacak bir planlama olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil kökenli kaynak kullanımının sebep olduğu çevresel etkileri ve kısıtlı rezervleri, yapılan çevresel değerlendirmeler net bir şekilde ortaya koymuştur. Öte yandan günümüz dünyasının artan enerji ihtiyacı, üretim ve nüfusu enerji bağımlılığını daha da arttırarak kaynak sıkıntısını had safhaya çıkarmıştır. Bu bağlamda yoğun bir şekilde kullanımı söz konusu olan fosil kökenli kaynakların enerji erişimi, arz güvenliği ve arz sürekliliği açısından sıkıntı çıkaracağı ise yadsınamaz bir gerçektir.

Özellikle enerji kaynakları, kullanım oranları, hava kirliliği, küresel ısınma gibi konular sürdürülebilir kalkınma kavramının ortaya çıkmasının esas noktalarıdır. Birleşmiş Milletler tarafından 1972 yılında Stokholm'de düzenlenen İnsan ve Çevre Konferansı kavramın uluslararası düzeyde ele alındığı ilk platform olarak önem arz etmektedir (Şanlı & Armağan , 2017).

Sürdürülebilir Kalkınma kavramı net bir şekilde ilk olarak Doğayı Koruma Birliğinin (IUCN) tarafından kabul edilmiş olan ve sürdürülebilirlik kavramının da yer aldığı Dünya Doğa Şartı Belgesinde görülmektedir.



Ayrıca 2005 yılında Birleşmiş Milletler tarafından gerçekleştirilen Dünya Zirvesinde Sürdürülebilir Kalkınma; ekonomik ve sosyal kalkınmanın yanı sıra çevrenin korunması başlıkları ile daha net bir çerçevede açıklanmıştır (UN, 2005). Türkiye’de ise Sürdürülebilir Kalkınma kavramı 1998 yılında oluşturulan Türkiye Ulusal Eylem Planı (UÇEP) çerçevesinde ele alınmıştır. William E. Rees’ in 1992 yılında geliştirmiş olduğu ‘ekolojik ayak izi’ kuramı tüketilen dünya ve gerekli olan dünya arasındaki ilişkiyi gösteren bir kuramdır. Rees yaptığı kuram ile nüfusun bir yıl kullandığı dünya kaynaklarının kendini ancak bir yıl dört ayda yenileyebildiği ortaya konmuştur. Bu açıdan ele alındığında dünya yenilenmesini tamamlayamadan tekrar kullanılmaya başlanmaktadır (Url-8).

Gladwin 1995 yılında sürdürülebilirlik kavramını katılımcı ve buna bağlı olarak kaynakların savurganlıktan uzak bir şekilde ve karşılıklı haklar gözetilerek kullanıldığı bir süreç olarak tanımlamaktadır. Özellikle enerji kullanımı ve bunun gelecek ile bağlantılı bir şekilde sağlanması düşüncesi ile bağdaşan sürdürülebilirlik kavramı esasen insan yaşamı ve insan geleceğinin koruma altına alınması mantığı temeline dayanmaktadır. Öte yandan birçok ulusun bir arada yaşadığı dünya doğal kaynakları ve kullanılan atmosferin ortak olması sebebiyle sürdürülebilirlik kavramına aynı hassasiyetlerle yaklaşmalarını zorunlu kılmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramını çevresel sorunları engellemek ve ekolojik sistemin korunması amaçları doğrultusunda ortaya çıkan bir kavram olarak tanımlanmıştır. Brundlant Raporuna göre Sürdürülebilir Kalkınmanın sağlanması için bir takım şartların sağlanması gerekmektedir (Lale, 2016).

Bu şartlar şu şekilde sıralanmıştır:

- Kamunun etkin bir rolünün olduğu bir karar verme mekanizması
- Problemlere çözüm üretebilen bir sosyal sistem
- Teknolojinin etkin olduğu bir sistem
- Ekolojik dengenin korunması ilkesine bağlı üretim sistemi
- Kendi kendine yeten bir ekonomik düzenin sağlanması

Sürdürülebilir Kalkınma kaynakların kullanıldığı dönem itibariyle değil gelecekte yaşayacak insanlar ve yaşam için gerekli bir ihtiyaç olduğunu ilke edinen bir sistemdir. Bu sistem özellikle gelişmiş ülkeler tarafından belirli bir dönem gelişmenin ve kalkınmanın devam etmesini istemeyen sistem olarak görülmüştür. Sürdürülebilir

Kalkınmanın kavramsal açıklamalarının artması ve tanım olarak net bir düzleme oturması ile enerji tüketim anlayışı ve gelişme stratejilerinin sebep olduğu ekolojik dengenin sarsılmasına neden olmamak için kalkınmaya ve gelişmeye yönelimden vazgeçmeyi amaç edinen bir kavram değil aksine bu gibi etkileri ortadan kaldırmaya çalışarak ya da minimuma indirerek bunun sağlanmasını amaç edinen bir kalkınma seçeneği olduğunu göstermiştir (Lale, 2016).

Sürdürülebilir Kalkınma kavramının tanıtımı BM başta olmak üzere uluslararası, ulusal ve yerel ölçekte düzenlenen birçok konferans, rapor ve protokol mevcuttur. Bu çalışmalar kronolojik olarak sıralanacak olursa şu şekildedir:

- Stokholm Konferansı (1972): ‘İnsan Çevresi’ başlığı ile düzenlenen konferans (Url-9) etkili bir konferans olmamasına rağmen birçok çevre ajanslarının kurulmasına öncü olması bakımından oldukça önem arz etmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı’nın oluşumu Stokholm Konferansı sonrasında gerçekleşmiş olup, konferans uluslararası ölçekte bir çevre hassasiyeti akımı başlatmıştır.
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Koruma Stratejisi ( 1980): 1972 Stokholm Konferansından ilk olarak bahsi geçen sürdürülebilir kalkınma kavramı en geniş ve net anlamıyla ilk olarak Dünya Koruma Stratejisi (WCS) (Url-10) çalışmasında yer almıştır. 1980 yılında yayınlanan WCS, Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Programı (UNEP), Dünya Yabani Hayat Fonu (World Wildlife Fund), Uluslararası Doğal Kaynakları ve Doğayı Koruma Birliği (International Union for the Conservation of Nature and Naturel Resources-IUCN) tarafından hazırlanmıştır.
- Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı ( Agenda 21-Rio de Janeiro, 1992): 1992 yılında düzenlenen Birleşmiş Milletler Yeryüzü Zirvesi’nde Sürdürülebilir Kalkınma işlenmesi ve dikkat edilmesi en önemli konu olarak belirlenmiş ve bu bağlamda birçok karar alınmıştır. Sürdürülebilir kalkınmanın uluslararası toplumun gündeminde öncelikli bir konu haline gelmesini sağlamıştır (Url-11).
- Avrupa Birliği (AB) Beşinci Eylem Planı (1992): Eylem Planı (Url-12) ‘Sürdürülebilirliğe Doğru (Towards Sustainability) başlığı ile hazırlanmış olup ulusal ve uluslararası ölçeğin dışında yerel yönetimlerin de konunun hâkimi ve

yöneticisi konumunda görüldüğü ilk çalışmadır ve özellikleri şu şekilde sıralanmıştır:

- Genel yaşam kalitesini korumak
- Doğal kaynaklara sürekli erişim sağlamak
- Kalıcı çevresel hasarı önlemek için
- Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden, günümüzün ihtiyaçlarını karşılayan bir gelişme olarak sürdürülebilir olmayı düşündürmektedir.
- Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu (SKK-1993): 1993 yılında kurulan Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu (The Commission on Sustainable-CSD) Birleşmiş Milletler komisyonlarından. 1992 yılında Rio de Janeiro'da düzenlenen konferans sonrası oluşturulan Gündem 21 (Url-11) raporu çerçevesinde hazırlanan Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu amaçları şu şekilde belirlenmiştir:
  - Çevre ve Kalkınma Konferansında kabul edilmiş olan maddelerin hayata geçirilmesi
  - Uluslararası işbirliğinin sağlamlaştırılması
  - Çevre ve Kalkınma hususlarında katılımcı hükümetler arası karar verme mekanizmasının düzenlenmesi ile entegrasyonun sağlanması
  - Gündem 21, çerçevesinde alınan kararların uygulama sürecinin takibinin sağlanması gibidir (Birleşmiş Milletler (United Nations, 1992). Kalkınma Komisyonu nüfus, eğitim, ekonomi, yoksulluk gibi hususlarda her yıl ilgili hükümetlerin raporlarını inceleyerek alınan kararların uygulamasını amaçlar doğrultusunda sağlamaktadır (Lale, 2016).
- Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Konferansı- Habitat 2 ( İstanbul-1996): Birleşmiş Milletler tarafından 1996 yılında İstanbul'da düzenlenen konferans( Url-13) Sürdürülebilir Kalkınma açısından önemli konuların ele alındığı bir konferans olmuştur. İstanbul Konferansında insan yerleşimleri ana konu olup sürdürülebilir kalkınma yerleşimler ölçeğine indirgenip ayrı bir şekilde kullanılmıştır. Sürdürülebilirliğin insan yaşam alanı olan kent ölçeğinde ele alınması Sürdürülebilir Kalkınmanın konu olduğu diğer konferanslara nazaran uluslararası olarak değil yerel açıdan işlenmiştir. Bu bağlamda sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleşmesi demokratik, katılımcı, şeffaf, kamu nazarında hakkaniyetin sağlandığı, insan haklarına saygılı ve sivil toplum açısından

etkinliğin sağlanabildiği işleyen bir sistem tarafından sağlanacaktır (Lale, 2016).

- Rio +5 Forumu (New York- 1997): 92 yılında Rio de Janeiro'da düzenlenen Çevre ve Kalkınma Konferansından beş yıl sonra New York'da düzenlenen forum (Url-14) Sürdürülebilirlik ile ilgili alınan kararların uygulama aşamasına geçmesi ile ilgili ciddi kararların alındığı ve özellikle sivil toplum örgütleri, yerel yönetimler, özel sektör, ilgili kurullar, kuruluşlar gibi katılımcıların katıldığı aktif bir süreç olmuştur.
- Kyoto Protokolü ( Kyoto-1997): İklim Değişikliği teması ile düzenlenen protokolün merkezinde sera gazı salınımlarının seviyelerini kontrol altına alma ve sınırlandırma konulmuştur. Kyoto Protokolü (Url-5) kapsamında sera gazı salınımı ile ilgili azaltma veya sınırlandırma hedefine ulaşmaları yönünde moderatörler özel sektör ve gelişmekte olan ülkeler için üç piyasa temelli mekanizmayı öne sürmüşlerdir. Bu mekanizmalar, uluslararası salınım ticaret (IET), temiz kalkınma mekanizması (CDM) ve ortak uygulama (JI)'dir (The Kyoto Protocol Mechanisms, 2010). Kyoto protokolü çerçevesinde sera gazı salınımı ile ilgili belirlenen hedefler için özellikle sanayileşmiş ülkeler tarafından yerine getirilemeyeceği yönünde bildirimler gelmiştir. Bu hususta Amerika Birleşik Devletleri ise sera gazı salınımı kontrolü yerine temiz enerji kaynakları ile ilgili yönlendirme ve çalışmaların teşvik edilmesi ve geliştirilmesinin sağlanması yönünde fikir beyanında bulunmuştur (Lale, 2016).
- Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı ( WSSD-Johannesburg-2002): 2002 yılında Güney Afrika Cumhuriyeti'nde gerçekleştirilen konferans (Url-15), 1992 yılında ilk defa gerçekleştirilmiş olan Çevre ve Kalkınma Konferansında alınmış olan kararların uygulama geri dönüşümleri ile ilgili değerlendirmelerin yapılmasına sahne olmuştur.
- Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı ( Rio +20, 2012): Rio Çevre ve Kalkınma konferansının (Url-16) devamı niteliğinde gerçekleştirilen konferans 2012 yılında Rio de Janeiro'da gerçekleştirilmiştir. Konferans gündüşatını belirleyen ana tema Sürdürülebilir Kalkınma konusu olmuştur.
- Küresel Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, G20 Zirvesi ( Antalya, 2015): 2015 yılında Türkiye'de gerçekleştirilen buluşma 'İnsanlar, Gezegenler ve Refah' ana başlıkları ışığında 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefine yönelik

gerçekleştirilmiştir (Url-17). G20 Zirvesi küresel ekonomik ve mali krizlere çözüm üretilmesi amacıyla 2008 yılı itibariyle toplanmaya başlamış ve bu bağlamda önemli kararların alındığı bir zirve olmuştur. Ekonomi ve kriz konuları zamanla genişlemiş ve kalkınma, enerji güvenliği, iklim değişikliği, yoksullukla mücadele, istihdamın sağlanması, gıda güvenliği gibi konularda müdahil edilmiştir.

### **3.2 Yenilenebilir Enerji Açısından Sürdürülebilir Kalkınma**

Sürdürülebilir Kalkınma kavramı özellikle ekonomik ve çevresel açıdan ele alındığında yenilenebilir enerji ile ortak bir zeminde bulunduğu ve ilişkilendiği görülmektedir. Ekonomik açıdan ele alındığında sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi kaynakların kullanımında hassasiyet gerektirmektedir. Çevresel açıdan sürdürülebilirliğin sağlanması ise ancak çevrenin kullanımında tahribata sebep olacak kullanımlardan uzak durarak ve çevrenin geri dönüşümü aşamasında aktif görev alarak gerçekleşebilecektir (Yavuz, 2010).

Üzerinde yaşanan dünya kendini yenilemesine müsaade edilmeden tekrar kullanımı gerçekleştiği için ve özellikle sanayileşmenin artması ile birlikte artan enerji kullanımı ve ihtiyacı ile geri dönülmesi oldukça güç tahribata uğramıştır. Dünyanın yanlış kullanımlar sonucu maruz kaldığı temel problemler ise Küresel Isınma, Su kaynaklarının Tükenmesi, Ozon Tabakası Tahribatı, Ekosistem Tahribatı gibidir (Lale, 2016).

Kalkınmanın devam etmesi nüfus, ticaret, sanayi, yatırımlar gibi birçok yönden ilerlemenin gerçekleşmesi ile meydana gelmektedir. Artan nüfus, gelişen ticari yapı, büyüyen sanayi, artan yatırımlar artan enerji talebi ile sonlanmaktadır. Enerji ihtiyacının artması ise beraberinde enerji arz güvenliği ve sürekliliği konularını gündeme getirmektedir. Enerji ihtiyacının artması kullanılan enerji kaynaklarının rezervi ve tedarikinin büyük önem arz ettiğini göstermektedir. Yoğun bir şekilde kullanımı söz konusu olan fosil kökenli kaynaklar ise yapılan araştırmalar neticesinde kısıtlı ömürleri ile enerji açığını gün yüzüne çıkarmıştır. Bu bağlamda önem verilmesi gereken husus ise yenilenebilir doğal enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Enerji tercihindeki zorunlu olması gereken bu değişim ile fosil kökenli kaynakların çevreye ve canlılara verdiği zarar ve ayrıca enerjiye ulaşım, arz güvenliği ve sürekliliği gibi konularda çözüm sağlanmış olacaktır (Yavuz, 2010).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilecek enerji kendini yenilemesini beklemeden kaynağı tekrar kullanılabilmesi için fosil kaynaklar ile karşılaştırılması mümkün olmayacak bir enerji türüdür. Sonsuz, kendini yenileyebilmesi ve sürekli oluşu ise sürdürülebilirlik açısından yenilenebilir enerji kaynaklarını zorunlu kılmaktadır (Tunçsiper & Fırat, 2017).

Bu açıdan değerlendirildiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sürdürülebilir bir kalkınma için zorunlu hale gelmiştir ve hem çevrenin korunması hem de canlıların korunması açısından geri dönüşü güç problemlerin bertaraf edilmesi için oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu durum akıllı şehircilik akımını da başlatmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı çevre ve canlı dostu yaşam alanları oluşturmayı hedeflemiştir.

### **3.3 Yenilenebilir Enerji ve Akıllı Şehircilik Kavramı**

Akıllı şehir kavramı gelişmekte olan bir kavram olup seneler içerisinde birçok şekilde tanımlanmıştır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımıyla kent hizmet ve altyapısının sağlanması olarak tanımlanabilir. Akıllı Kent kendisinden istenen hizmeti, bilgiyi akıllılık temeline dayandırıp teknolojinin etkin kılındığı bileşenleri ile sağlaması beklenen bir yaşam alanı olarak da tanımlanmıştır. Kavram kentin ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan bütüncül bir dönüşümden geçerek, kullanıcılarına verimli, sürdürülebilir ve hızlı bir hizmet sağlayan sistem olarak da tanımlanmıştır (Karadağ, 2013).

Akıllı kenti normal kent formundan ayıran en önemli özelliği tanımlamalardan da görüleceği üzere bilişim teknolojileri ile donatılmış sistemlerden meydana gelmesidir. Öte yandan akıllı kent yalnızca bileşenleri açısından değil kullanıcısı açısından da akıllı bir eğilimi olan bir yapıdır. Akıllı kent akıllı kullanıcıları ile bütüncül olarak bir sistemi teşkil etmektedir.

Hodgkinson'a göre "Akıllı" terimi, bir şehrin altyapı ve hizmetlerinin yaratıcılığını ve verimliliğini artırmak için bilgi teknolojilerinin (BT) akıllı kullanımına istinaden 2000'lerden sonra kentsel politika yapımında ortak bir terim haline gelmiştir (Karadağ, 2013).

### 3.3.1 Gelişim süreci

Akıllı Şehir ilk olarak Amerika'nın California eyaletinde Los Angeles şehrinde bugünün akıllı şehir anlayışı ile olmasa da küçük bir yaklaşımı olarak ve zamanının teknolojisi ile 1960-1970 yıllarda ortaya çıkmıştır denilebilir.

Politika analisti ve avukat olan Mark Vallianatos' un bu hususta araştırma bulguları şu şekildedir: Los Angeles Topluluk Analiz Bürosu tarafından 1960'ların sonlarına doğru veri toplamak, mahalle demografik ve konut kalitesi ile ilgili raporlar üretmek ve yoksulluğu engellemek ve yoksullukla mücadele etmek hususunda doğrudan kaynakları yönetmeye yardımcı olmak için bilgisayar veri tabanları, küme analizi ve kızılötesi fotoğraflar kullanılmıştır.

1972 yılında Meadows ve arkadaşlarının yazdığı 'The Limits to Growth' isimli kitapta ilk defa Sürdürülebilir Gelişme kavramına değinilmişti ve böyle akıllı kentlere bir perspektif açılmıştır (İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, 2017).

1972 yılında Stokholm'de gerçekleşen 'İnsan ve Çevre' konulu konferans ve ardından 1980 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Koruma Stratejisi konulu konferans ile 'Sürdürülebilir Kalkınma' kavramı uluslararası ölçekte büyük bir önem kazanmış ve bu bağlamda ciddi adımlar atılmıştır. Birleşmiş Milletler tarafından gerçekleştirilen konferans sonrası Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri'nin isteğiyle bir rapor hazırlanmıştır. Brundtland Raporu'nda Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılayan bir gelişme olarak tanımlanmaktadır. Bu konferansların gerçekleştirilmesi sonrasında uluslararası ölçekte bir farkındalık yaratmış ve bu bağlamda sürdürülebilir kalkınma ile ilgili yeni girişimler yapılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler kent ölçeğinde etkili olacak yeni şehircilik akımlarının oluşmasına zemin hazırlamıştır. Yeni gelişen bu akımlar 1990'lı yılların başlarında etkilerini hissettirmeye başlamış ve Yeni Kentleşme Hareketi (New Urbanism) bu hareketlerin başındadır.

Yeni Kentleşme Hareketinden sonra sırasıyla 'Sürdürülebilir Kentler (Sustainable Cities)', Ekolojik Kentler 'Ecological Cities-Green Cities'), Akıllı Büyüme 'Smart Growth'), Yavaş Kentler 'Slow Cities'), Düşük Karbon Kentler 'Low Carbon Cities'), Kentsel Rönesans 'Urban Renaissance'), Yaşanabilir Kentler 'Liveable Cities'), Dijital Kentler 'Digital Cities'), Akıllı Kent Girişimleri 'Smart Cities Initiatives') gibi

kentsel hareketler meydana getirilmiştir. Söz konusu planlama yaklaşımlarından “akıllı kent girişimleri” özelleşen yoğun tüketim unsurları karşısında yerleşmeleri teknolojik uyum ve ekolojik duyarlılık çerçevesinde yeniden değerlendirme ideasıyla 20.yy. sonu ve 21. Yy. başında etkisini giderek arttıran bir yaklaşım olmuştur (Sınmaz, 2013).

Türkiye Akıllı Kent teknolojisini özellikle son yıllarda yakalamaya çalışmak adına Çevre ve Şehircilik Bakanlığı olarak kaynakların etkin ve yaşam standartlarının yüksek olduğu şehirler yaratmak için ‘Akıllı Kentler Stratejisi ve Eylem Planı’ oluşturmak için çalışmalar başlatmıştır. Planın oluşturulması adına planlama, inşaat, bilgi sistemleri, bilişim gibi alanlarda yeni yasalar yönetmelikler ve stratejiler uygulamaya konulmaya başlanmış ve bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı, kullanıcı odaklı, şeffaf, verimli ve enerji kaynaklarının etkin olarak kullanıldığı yaşam alanları oluşturulmak istenmiştir (İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, 2017).

Ayrıca yine Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca gerçekleştirilen TUCBS- Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Ulusal Kent Bilgi Sistemleri (Url-18) çalışmaları altyapı ve şebeke sistemlerinde insansız yönetim ve işletme esasına dayalı bir yöntem ile kamu hizmetine sunulmuştur. Öte yandan bilgi güvenli, yüksek oranda açık kaynak bilgileri sağlama, planlamanın şeffaflaşması, afet ve kriz yönetimi adına kentsel dönüşüm ile altyapının oluşturulması gibi hedefleri kapsayan ‘Akıllı Kentler- Bulut Kent Bilgi Sistemi’ çalışması başlatılmıştır. Bir diğer dikkat çeken çalışma ise Sürdürülebilir kentler oluşturmaya yönelik ‘KENTGES- Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı (Url-18) 2010-2023’ adı ile belge olarak hazırlanmıştır. Bakanlığın yürüttüğü bir diğer çalışma ise ATLAS (Url-18) uygulaması olup coğrafi verilerin web ortamında paylaşımını sağlayan bir web bağlantılı çalışmadır (İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, 2017).

2011 yılında oluşturulan İDEP (Url-19) ise küresel ısınma odaklı bir plan olup Enerji Verimliliği Kanunu ile ulaştırma ve altyapı düzenlemelerini etkinleştirmeyi amaçlamıştır (Karadağ, 2013).

2009 yılında Ulaştırma ve Haberleşme Bakanlığı tarafından 10. Ulaşım ve İletişim Forumu İstanbul’da gerçekleştirilmiştir. Hedef 2023 sloganıyla forum, ekonominin omurgası olan ulaşım ve iletişim sektörlerinin ihtiyaçlarına yönelik uzun vadeli projeler ve çözümler geliştirmeye odaklanmıştır. Bu bağlamda Türkiye için enerji



verimliliği konusunda yeni standartlar belirleyen Enerji Kimlik Belgesi Uygulaması oluşturulmuştur. Bu sertifika, enerji gereksinimlerini, enerji tüketim sınıfını, yalıtım özelliklerini, ısıtma ve soğutma sistemi bilgilerinin binaya ilişkin bilgilerini yansıtmaktadır. Ayrıca 2011'den sonra yeni binalar için Enerji Kimlik Belgesi zorunlu hale getirilmiştir (Karadağ, 2013).

### **3.3.2 Akıllı şehircilik bileşenleri**

Akıllı kent kullanıcısı, çevresi, yönetim şekli, iletişim yöntemleri, ekonomik tercihi, enerji elde etme yöntemleri, ulaşım sistemi gibi bileşenler ile bütüncül bir şekilde ele alınarak akıllı oluşu değerlendirilebilir. Özellikle e-devlet sistemleri teknolojik uygulamalardan olup kullanımı kentlinin eğitimi ile mümkün kılınacak sistemlerdir. Bu açıdan akıllı kent kullanıcısı akıllı bir yönetim ile entegre bir şekilde var olabilecektir (Karadağ, 2013).

Akıllı kent esasen vatandaş ve çevre koruma temeline dayalı olarak gelişen ve yaşam kalitesini artırmayı ve ekosistem ömrünü uzatmayı amaçlayan bir yaşam alanı oluşturulmasıdır. Kentin her yönüyle geliştirmeyi amaç edinen akıllı kent yaklaşımı çeşitli amaçlar doğrultusunda ilerlemektedir. Elvan 2017'de bu amaçları şu şekilde sıralamıştır:

1. Özellikle enerji ve ulaşım başta olmak üzere kentsel sistemlerin verimliliklerinin artırılması
2. Hava ve gürültü kirlilik oranlarının kent kullanıcısını etkilemesinin önüne geçilmesi
3. Kamu hizmetlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi

Yine Elvan 2017'de kentin akıllı sistemlere entegre edilebilmesi ve dönüştürülebilmesi için gerçekleştirilmesi gereken işlevlerden biri de akıllı kent fikrinin çıkış noktası olan sürdürülebilir kalkınma başlığı altındaki sürdürülebilir kent için sosyal ve çevresel açıdan değişimin sağlanması ve enerji kaynaklarının etkin kullanımının sağlanmasıdır (İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, 2017).

Avrupa Birliği tarafından da kabul edilmiş olan uygulama yaklaşımlarından biri Cohen'in 'Akıllı Kentler Çarkı (Smart Cities Wheel-SCW)'dir. Cohen'e göre akıllı kentler altı bileşen ve bu bileşenlerin alt bileşenlerinden meydana gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bileşenler şu şekildedir:

- Akıllı Çevre (Natural Resources- Smart Environment)

- Kirlilik ile ilgili çözümler
- Çevresel koruma
- Sürdürülebilir kaynak yönetimi

Akıllı şehircilik ve yenilenebilir enerji sürdürülebilirlik zemininde bir araya gelmekte ve bir birlerini tamamlayıcı olarak çalışmaktadırlar. Akıllı şehir bileşenlerinden olan akıllı binalar, akıllı kent mobilyaları, akıllı altyapı, akıllı şebeke sistemleri, akıllı sayaçlar, akıllı enerji gibi birçok konusu doğrudan yenilenebilir enerji kavramı ile ilgilidir (Ulusoy, 2017).

Yenilenebilir enerji ile karşılanan akıllı enerji ihtiyacı bazı kazanımları ve zorlukları da beraberinde getirmiştir. Ekonomik kazanımlar açısından ele alındığında yenilenebilir enerji kullanımı:

Kentin elektrik ve ısı ihtiyacını anlık halletmesi, israfın azaltılması, paneller yardımıyla işletme ve kurum bedeli ödemedi enerjiye ulaştırması, akıllı sayaçlar ile elektrik hırsızlığının önüne geçilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bina çatı ve cephe sistemlerinde kullanılacak Şebeke Bağlantılı BIPV (Building Interated Photovoltaics) panel sistemleri ile hem kendi enerjisini elde etme hem de üretilen fazla enerjinin şebeke bağlantısı ile şebekeye satılmasını sağlamaktadır

Çevresel açıdan ele alındığında akıllı enerji ile elde edilen kazanımlar şu şekilde sıralanabilir: sera gazı emisyonunun azaltılması, enerji kaynaklarının entegrasyonunu sağlayarak dayanıklılık ve verimliliğin artırılması, temiz enerjinin etkin kılınması gibidir (Ulusoy, 2017).

## **4. SOLAR FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEMLERİ**

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji genel olarak ısıtma ve elektrik olarak karşımıza çıkmaktadır. Temiz enerji kaynaklarından enerji elde etmek için teknolojinin sunduğu hâlihazırda birçok çalışma da mevcuttur. Ayrıca verimliliği arttırmak amacıyla birçok çalışma da devam etmektedir. Bu bağlamda güneş enerjisinden enerji üreten fotovoltaik sistemler önemli teknolojik buluşlardan biri olarak görülmektedir. Fotovoltaik sistemler uygun malzeme ve yer seçimi kriterleri ile üst seviyede verimlilik sağlayacak potansiyele sahiptir (Kayal, 2009).

Fotovoltaik (PV) sistemlerin kurulumunda ve kullanımında fiyat, malzeme kalitesi ve yer seçimi gibi kriterler oldukça önem arz etmektedir. PV paneller özellikle çok katlı binalarda yeterli enerji verme ve yer seçimi açısından büyük sıkıntılar yaratabilmektedirler. Böylece PV teknolojisinde bu sıkıntıları ortadan kaldırmak ve çok katlı yapılara yeterli enerjiyi sağlayabilmek için çalışmalar yapılmış ve BIPV (Building Integrated Photovoltaic) olarak adlandırılan ayrı bir sistem geliştirilmiştir. PV sistemlerin binalara entegre bir formatı olarak tasarlanan BIPV (Building Integrated Photovoltaic) bina yapı elemanı olarak görev alacak panel sistemleri olarak kullanılmaktadır. BIPV sistem çözümü panellerin bina çatı ve cephelerine entegrasyonu ile maksimum panelin yerleşmesini ve maksimum verim elde edilmesini amaçlamaktadır. BIPV sistemi ile birlikte ayrıca mimari açıdan bir tasarım ögesi elde edilmiş olmaktadır (Kayal, 2009).

### **4.1 Tarihsel Gelişim**

Fotovoltaik (photovoltaic) ismi Yunancada 'ışık' anlamına gelen 'phos' kelimesinden ve elektrik tarihi için önemli şahsiyetlerden olan Alessandro Volta'nın soyismindeki 'voltaic' kelimesinin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Fotovoltaik sistemler yenilenebilir enerji alanında son dönem teknolojik gelişmelerinden biri olarak görülmesine rağmen aslında tarihi 19. Yy. ilk yarısına denk gelmektedir. PV panel sistemleri ile ilgili ilk adımlar 1839 yılında Alexandre Edmund Becquerel tarafından

atılmıştır. Kurduğu düzenek ile fotovoltaik etkiyi keşfeden Edmund PV sistemlerinin en ilkel halini bilime kazandırmıştır (Yerli, 2011).

Zayıf bir elektrolit çözeltisinde metal bir elektrodu aydınlatarak voltaj üretebilen Edmund'un bu çalışmaları kısa bir süre sonra William G. Adams ve Richard E. Day'in silisyum kristallerini katılar üzerindeki fotovoltaik etkiyi incelerken buluşu ile devam etmiştir. 19. Yüzyıl sonunda gerçekleştirilen bu çalışmada bu iki bilim adamı fotovoltaik hücrelerin verimliliği ile ilgili çalışmış olup verimlilik yüzdesini %1 den %2'ye çıkarmışlardır. Fotovoltaik Sistemler ile ilgili öne çıkan ilk buluş ise Albert Einstein'ın fotoelektrik etkisi ile ilgili yayınladığı makalesindeki teori olmuştur. Einstein bu teorisi ile 1921 yılında Nobel Ödülüne layık görülmüştür. Uluslararası bir etki yaratan fotovoltaik hücreler Einstein'ın çalışmaları sonrasında dünyada çok daha önemli adımların atılmasını sağlamıştır.

1950 yılında Fuller, Chapin ve Pearson tarafından silikon PV hücrelerinin verimliliği %4 dolaylarına kadar çıkarılmıştır. Öte yandan Amerika' da giderek yükselen PV teknolojisi 1958 yılında Mandelkorn Signal Corps Laboratuvarlarında crystalline silikon fotovoltaik hücrenin üretilmesi ile gelişmeye devam etmiştir. Yapılan bu çalışma ile PV hücreler radyasyona karşı daha dirençli bir hale gelmiştir. PV hücrelerinin radyasyon dirençlerinin artması uzay araştırmalarında da etkili bir şekilde kullanım şansı getirmiştir (Yerli, 2011).

Akabinde teknik olarak ilk örnek 1954 yılında 'Vanguard 1' uydu çalışmalarında kullanılmıştır. Uydu çalışmalarında kullanımı üzerine sonraki yıllarda havacılık sektörü PV hücrelerinin teknolojik olarak ilerlemesine oldukça yarar sağlamıştır (Yerli, 2011).

PV panel sistemlerinin gelişme grafiği hücre yapısında kullanılan malzeme değişikliği ve verimlilik ile ilgili çalışmalar ile devam etmiştir. Panel hücrelerinin radyasyona dayanıklılığı verim oranını etkilediği için laboratuvar çalışmaları büyük oranda bu bağlamda ilerlemiştir. Dayanıklılığı sağlamak için kullanılan malzemeler üretilen PV panellerinin maliyetlerine yansımıştır. Panel maliyetlerinin fazla olması satış fiyatına da yansımıştır böylece fiyatı yüksek ve kullanım oranı artmayan bir sistem olmuştur. Bu kısır döngü panel maliyetlerini azaltmak için yapılan çalışmalar ile son bulmuştur (Kayal, 2009).

Daha az fiyata sahip olan güneş pilleri ile PV panel sistemleri hem teknolojik hem de kullanım anlamında hızla artan bir grafik izlemiştir. Bu teknolojik ilerlemeleri PV panel sistemlerinin herhangi bir şebeke bağlantısı olmadan ya da şebekeye bağlı olarak çalışan türlerinin geliştirilmesi takip etmiştir. Geliştirilen bu iki seçenek kullanım alanlarına göre oldukça önemli avantajlar sağlamışlardır. Kent merkezinden uzak şebeke bağlantı sıkıntısı yaşanan yerleşimlerde stand-alone olarak adlandırılan enerjiyi direk güneşten alıp yapıda kullanımı sağlayan PV panel sistemleri talebi karşılamıştır. Öte yandan şebekeye bağlı olan PV panel sistemleri gerektiğinde ürettiği enerji kullanırken talebi karşılamayan bir üretim olduğunda da gereken enerjiyi bağlı olduğu şebekeden satın alan ayrıca talebi aşan bir enerji üretiminde ise fazla enerjiyi bağlı olduğu şebekeye satan sistemlerdir (Kayal, 2009).

PV panel sistemleri bu önemli gelişmeler neticesinde sonraki yıllarda artarak devam eden bir teknolojik süreçten geçmiştir. Bu bağlamda Delawera Üniversitesi'nde kurulan Enerji Dönüştürme Enstitüsü ( Energy Conversion Institute) büyük bir örnek teşkil etmektedir. ECI PV panel sistemlerini araştırma ve geliştirme için kurulmuş olan ilk enstitü olup bünyesinde ince film (thin-film) fotovoltaiik ve güneş termal (solar thermal) sistemlerini araştırma ve geliştirmeye odaklanarak bir çalışma disiplini devam ettirmiştir (Kayal, 2009).

Fosil kaynaklar ile ilgili yapılan araştırmaların göstergeleri ve yenilenebilir temiz enerjinin öneminin anlaşılması gibi maddeler uluslararası bir etki yaratmıştır ve yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar hız kazanmıştır. Amerika'da kurulan Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü ( Günümüzde Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı) tükenmez güneş kaynağından enerji elde etmek ve kullanmak için kurulmuş olup ciddi araştırmalara imza atmışlardır (Kayal, 2009).

1980 ve sonrasında özellikle NASA aracılığıyla gerçekleştirilen çalışmalar dikkat çekmiştir. NASA bünyesindeki Lewis Araştırma Merkezi 3.5 kW'lık bir fotovoltaiik sistemi Arizona'daki bir yerleşime kurmuşlardır. Yapılan bu çalışma dünya genelinde bir ilki temsil ediyor oluşu ile ön plana çıkmıştır. Su pompalama ve konut elektriğini sağlayan bu PV sistem 15 konutta uygulanmıştır (Kayal, 2009).

Sonraki yıllarda güneş enerjisi panel sistemlerindeki hızlı ilerleme özellikle 1990 yılından sonra Pasifik Gaz ve Elektrik Şirketinin PV panel sistemleri ile ilgili yapmış olduğu önemli gelişme ile devam etmiştir. PV panel sistemleri teknolojisi için oldukça

önemli olan bu çalışma panellerin şehir şebeke sistemine bağlı olarak çalışması mantığına dayanmaktadır. Güneşten elde edilen enerji PV panel istemi ile yapıda kullanılacak elektrik enerjisine çevrilmektedir. Yapının talep fazlası elektriği şebeke bağlantısı yoluyla sayaç siteminin de yardımıyla şebekeye satılmaktadır. Ayrıca talebi karşılayacak elektrik üretilemeyince şebeke bağlantısı bu kez elektrik satın alınan bir işlev görmektedir. Şebeke bağlantılı PV panel sistemli ilk örnek Amerika'nın Kaliforniya eyaletinin Kerman şehrinde uygulanmıştır (Url-20).

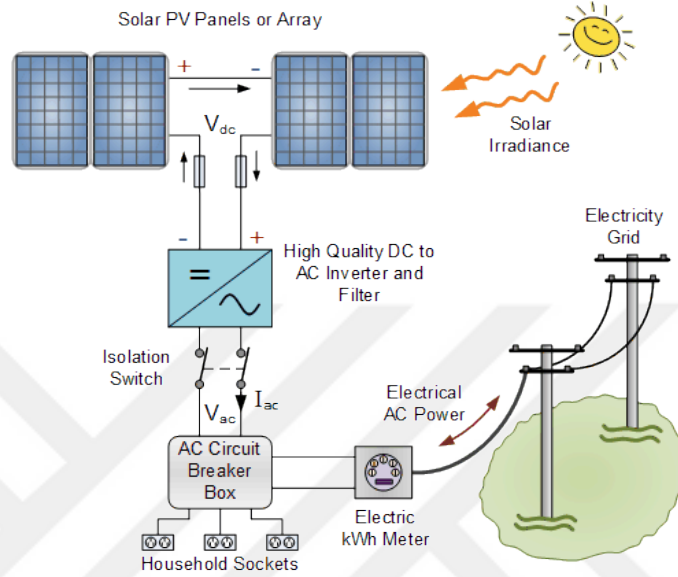
PV panel teknolojisi sonraki yıllarda özellikle kullanılan malzemenin yanında panel verimliliği ile ilgili olmuştur. İlk başlardaki verimlilik çalışmaları %3-4 dolaylarında kalmış daha sonraları bu oran %10 civarına ancak getirilebilmiştir. 1992 yılında Güney Florida Üniversitesi'nde yapılan bir çalışma sonucu ise panel verimliliği %15,9 seviyesine getirilmiştir (Kayal, 2009).

Verimlilik üzerine yapılan çalışmalar 2000'li yıllara gelindiğinde % 32.3 verimlilikle çalışabilen güneş pilleri üretilmiştir. Varılan bu yüksek verimlilik seviyesi hücre yapılarındaki malzemelerin doğru bir karışım ve sırada kullanımları sonucu elde edilmiştir. Özellikle verimlilik ve maliyetin azaltılıp daha uygun fiyatlı paneller üretebilmek için gösterilen çaba sonucunda 60 yıllık bir gelişme serüveni olan PV panelinin verimliliği %3 civarından % 32.3 civarına kadar fiyatı ise 100\$ dan 3.5\$ civarına getirilmiştir. Sonuç itibariyle güneş enerjisi sektöründe önemli bir yeri olan PV panelleri birçok gelişim aşamasından geçmiş ve günümüzdeki halini almıştır (Kayal, 2009).

#### **4.2 Fotovoltaik Panel Sistemleri, Bileşenleri ve Çeşitleri**

PV panel sistemleri PV panellerinden ve güneş yoluyla elde edilen enerjiyi kullanılacak hale çeviren bir takım parçalar bütününden meydana gelmektedir. Panel sisteminde en önemli parçalardan biri de PV panellerinin güneş ile direkt olarak karşılaştığı hücreleridir. PV hücreler güneş kaynağından aldığı yenilenebilir enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren iletken bir parçadır. Bu hücreler güneşten gelen foton ve güneş enerjisi parçacıklarının ulaştırdığı radyasyona tepki verecek yapıdadırlar. Görülebilir radyasyonun (400 nm - 700 nm aralığı) PV hücresine çarpması ile birlikte hücre yapısından geçebilen fotonlar emilir ve elektriğe dönüştürülmüş olur (Kayal, 2009).

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi panel hücrelerinden emilebilen fotonlar elektrik enerjisine dönüşmek için öncelikle cam yüzeyden geçerler. Cam yüzeyden emilebilen fotonlar serbest elektron olarak akar ve elektrik alanı oluştururlar ve dönüştürücü parça ile kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürülürler ya da depolanmak üzere bataryaya aktarılırlar.



**Şekil 4.1 : PV sistem bileşenleri.**

PV sistemleri 12V ve 12V’un katları şeklinde çalıştırılır. Panel hücresinin 0.5’lik kayıpları dikkate alındığında ise bu oran şu şekilde devam eder 18V, 33V ve 36V. Bir PV paneli yapısı hücreler ve bu hücrelerin bir araya gelip oluşturduğu modüllerden meydana gelmektedir. Ayrıca PV modülleri de bir araya gelerek dizileri oluşturmaktadır (Kayal, 2009).

PV panel sistemleri çalışma mantığı açısından iki tür olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlar tek başına sistemler (stand-alone) ve şebekeye bağlı sistemler ( grid-connected ) olmak üzere iki gruptan oluşur.

Tek başına PV panel sistemleri güneş enerjisinden elde edilen enerjiyi yapının talebini karşılayacak oranını kullanıma gönderir. Elde edilen fazla enerji ise panel sistemindeki bataryalarda kullanılmak üzere depolanır. Bir diğer PV panel türü ise şebekeye bağlı PV panel türleridir. Şebekeye bağlı sistemleri ise üretilen enerjinin depolanmadığı ve genel sistemin şehir şebeke hattına da bağlı olduğu sistemlerdir. Yapıdaki enerji talebi PV kaynağından fazla ise sistem gerekli ek elektriği direk şebeke bağlantısından sağlar. Öte yandan PV panellerinin ürettiği elektrik talebin üstündeyse fazla elektrik bağlantılı şebeke hattına gönderilir (Yerli, 2011).

Şebekeye bağlı PV panel sistemleri bileşenleri şu şekildedir:

1. PV Panelleri: Çatı ve bina diğer yüzeylerine entegre edilebilecek bileşenlerdir. Güneşten elde edilen enerjinin ilk emildiği bölümdür.
2. Power Conditioning Unit: PV panel sistemlerin en önemli bileşenlerinden biridir. Bileşenin içerisinde güneşten elde edilen enerjinin yapıda kullanılabilir hale gelmesini sağlayan ve dönüştürücü olarak tabir edilen invertör, solar şarj regülatörü ve şebeke şarj cihazı bulunmaktadır.
  - a. Dönüştürücü (İnvertör): Paneller aracılığıyla emilen fotonların DC türü elektriğe dönüştürüldükten sonra yapıda kullanılabilen AC türü elektriğe çevrildiği bileşendir. Merkezi ve dağıtılmış olmak üzere 2 tür stratejide elektrik dağıtımı gerçekleşir. Merkezi strateji de tek büyük invertör vardır. Çok katlı binalarda görülen dağıtılmış stratejide ise panel üzerinde bulunan hücrelerden oluşan her modül ve modüllerden oluşan her dizi ayrı ayrı invertöre sahiptir.
  - b. Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT-Maximum Power Point Tracker): PV sisteminin bu bileşeni Akım-Volt arasındaki bağlantıyı takip etmektedir. Bu izleme sonucunda sistem verimliliği takip edilir ve verimliliğin artırılması amaçlanır.
  - c. Dizi DC Ayırıcı ( ADD- Array DC Disconnect): Sistem bakımı sırasında panel dizisinde elektrik akışının durması ile görevli PV sistem bileşenidir.
  - d. Kw Saat Metre ( Kilowatt Hour Meter): Sistemin bu bileşeni sayaç görevini üstlenir ve PV sistemi ile şebeke sistemi arasındaki elektrik alış-verişini ölçer.
  - e. AC Sigorta Paneli: Güvenlik ve koruma amaçlı görev almaktadır.
  - f. Koruma Cihazları: Sistemi aşırı gerilim oluşumundan veya aşırı yüklenmeden korumak amacıyla koruma rölelerinden ve parçalarından oluşmaktadır.
3. Kablolama ( Wiring Of The Components): Sistemin bu bileşeni bütün elektrik bağlantılarını ve yapı elektrik panosunu içerir (Kayal, 2009).

Şebeke bağlantılı PV panel sistemleri birçok bölümden oluşmaktadır. Özellikle yapı enerjisinin kesintisiz olması, üretilen elektrikten kazanç sağlanması, ayrıca şebeke bağlantısı sebebiyle bölgenin enerji ihtiyacının karşılandığı termik santrallerin



kullanım oranına etki etmesi ve fosil kaynak bağımlılığını azaltması ve ortadan kaldırmada etkisi olması sebebiyle büyük önem arz etmektedir (Kayal, 2009).

PV panel sistemlerindeki en önemli parçalardan biri olan PV panelleri solar sistemin tek kaynağı olan güneş ile doğrudan ilişki içinde olan tek bileşendir. Bu bağlamda PV panel tipleri ve özellikleri önem arz etmektedir. Güneş ile doğrudan ilişkiye maruz kalmak radyasyon ve yıpranma demektir. Böylece panellerin yapımında kullanılan malzeme ve yöntemlerin önemi daha net bir şekilde anlaşılmaktadır. Solar hücreler PV panellerinin temeli olan semi-conductor yani yarı iletken özelliği sağlayan malzemelere göre adlandırılırlar (Yerli, 2011).

Panel hücresinin yapımında kullanılan bu malzemeler güneşten gelen fotonları emebilecek özelliklerde olmalıdırlar. Öte yandan PV panel teknolojisinde fazlaca dikkate edilen bir diğer konu ise panellerin yüksek verim-düşük fiyat dengesinin sağlanmasıdır. Bu dengenin sağlanabilmesi için laboratuvar ortamında hala birçok panel hücresi çeşidi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir (Kayal, 2009).

PV teknolojisi tarihinde solar hücreler kalınlıklarına göre Konvensiyonel, Geleneksel ve Wafer-Based olmak üzere 3 çeşit olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bu hücreler yapılarında PV teknolojisinde baskın bir profile sahip olan kristal silikon bulundurmaktadırlar.

İkinci nesil solar hücreler ise thin-film solar hücrelerdir. Bunlar hücre yapılarında yarı iletken madde olarak amorphous silikon (%8-10 Verimlilik-Teorik olarak %27 Verimlilik), CdTe (%11 verimlilik) ve CIGS (%11-14 verimlilik) bulundurmaktadırlar (Yerli, 2011).

Thin-film yapıları solar hücreler şebeke bağlantılı (Grid-Connected) PV panel sistemlerinde ve yüksek katlı yapılarda kullanılan PV panel sistemlerinde (BIPV) ya da küçük ölçekli tek başına (standalone) sistemlerde ticari olarak kullanılmaya olanak sağlamaktadır. Ayrıca diğer türlere nazaran yapılarında daha az malzeme gerektirdikleri için daha uygun fiyata sahiptirler. Thin-Film solar hücre malzemesi ince bir film şeklinde fotovoltaik panele uygulanır ve kristal silikon malzemesine nazaran daha az verimlidirler. Verimlilik oranları ise %7-14 dolaylarındadır. PV teknolojisinde daha az maliyetinden dolayı kullanım oranı fazladır fakat verimlilik farkını azaltmak için uygulama yüzeyini artırmaktadırlar (Yerli, 2011).

Solar hücreler için 3. nesil olarak karşımıza çıkan teknoloji ise nano teknolojiye dayalı olup ticari kullanımı henüz mevcut olmayan bir dizi thin-film teknolojisini kullanan hücrelerdir. Bu hücre yapıları hala araştırma ve geliştirme aşamasındadırlar. Bu hücre malzemeleri teknik olarak sorunlarına rağmen düşük maliyet (0,4 \$/W) ve yüksek verimlilik ihtimallerinden dolayı araştırma ve geliştirme açısından yatırımları oldukça fazladır (Yerli, 2011).

PV panel hücreleri ayrıca hücre yapısında bulunan kristallerin büyüklüklerine göre de kategorilere sahiptirler. Bunlardan ilki bu teknolojiye en eski ve kanıtlanmış olanı kristal silikondur. Bunlar da kendi aralarında tek kristalli ve çok kristalli olarak ikiye ayrılmaktadırlar (Bagher, Vahid, & Mohsen, 2015).

#### **4.3 BIPV Panel Sistemleri, Bileşenleri ve Çeşitleri**

PV sistemleri yenilenebilir enerji olan güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren ve büyük bir ilgiyi üzerinde toplayan son yılların en önde gelen teknolojik yatırımlarındadır. PV sistemleri fiyatının sürekli olarak düşmesi, basit bir kurulumla sahip olması, düşük maliyetli bakımı, çevre dostu oluşu, oturmuş ve güvenilir bir elektronik invert teknolojisine sahip olması gibi sebeplerden ötürü yenilenebilir enerji sektöründe odak noktalarından biri olmuştur.

PV panel sistemlerinin kullanımı ve kurulumu oldukça basittir ve uygun özelliklere sahip yapıyı besleyici nitelikteki panellerin döşenmesi ile de yeterli beslemeyi yapacak hatta fazla elektrik üretebilecek durumlar söz konusu olabilir. Fakat çok katlı yapılarda ( multi-storey buildings) panellerin monte edildiği çatı bölgesi alacağı panel sayısı ile yapıyı beslemeye yetecek enerjiyi üretemeyecektir. Bu sorunun ortadan kalkması ve çok katlı yapılarda da PV panel sistemlerinin kullanılabilmesi için binaya entegre bir şekilde kurulumu yapılan BIPV (Building Integrated PhotoVoltaic) panel sistemleri geliştirilmiştir. 1990'lı yıllardan itibaren özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nin öncülüğünde ABD Enerji Bakanlığı'nın (DOE'S) teşviki ile PV panel sistemlerinin çatı, cephe, cephe camları, perde gibi yapı elemanları olarak tasarlanması için PV ve İnşaat sektörü temsilcileri bir araya gelmiştir (Url-20).

PV panel sistemlerinin yüksek katlı yapılarda uygulanabilmesi ve yapıyı besleyecek kadar enerjinin elde edilebilmesi amacıyla geliştirilen BIPV panel sistemleri birçok avantaja sahiptir. BIPV panel sistemlerinin yüksek katlı yapılarda kullanımının avantajları şu şekildedir:

- Düşük kurulum maliyeti
- Maksimum sayıda panel sisteminin döşendiği ofis binalarında BIPV panel sistemlerinin en fazla enerji elde ettikleri zaman aralığı ofis çalışma saatleri ile aynı zaman aralığına gelmektedir.
- BIPV panel sistemleri bina yapı elemanlarının uygulama yüzeyleri olarak tasarlandıkları için ayrıca bir arazi kullanımına ihtiyaç duymazlar (Kayal, 2009).

Bina yapı elemanı olarak tasarlanan BIPV panel sistemlerinin karşılaşılabileceği en büyük problem ise inşa edilen yapı veya yapıların uygun tasarım kriterlerine sahip olmaması ya da BIPV panel sistemi dikkate alınmadan ve panel sistemlerinin yerleşim kaygısı yaşanmadan tasarlanmasıdır. Özellikle yapıyı inşa ettiren kişi kurum vs. nin inşa aşamasında yapı elemanlarını, gölgeleme elemanlarını kendi tasarım anlayışları ve isteklerine göre yaptırması bu aşamada büyük sorun yaratmaktadır. BIPV panel sistemlerinin uygulanması istenilen yapı ya da yapılarda entegrasyonda kolaylık ve uygunluk göz önünde bulundurulmalıdır. Öte yandan BIPV panel istemlerinin uygulanması düşünülen yapıların tasarım aşamasında PV panel sistemleri uzmanlarının, mimar ve inşaat mühendisi ile birlikte eş zamanlı çalışması ise en uygun tasarımı ortaya çıkarmak için ideal bir yoldur.

BIPV panel sistemlerinin uygulama aşamasında gerçekleşebilecek hatalar panel sisteminin verimliliğini etkileyebilir. Bu bağlamda verimliliği etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Lokasyon Seçimi  
Lokasyon ve Bölgesel İklim Koşulları panel sistemlerinin uygulanabilirliğini ölçmek için en önemli faktörlerdendir. Bu faktör dikkate alınırken lokasyonun aşağıdaki özellikleri göz önünde bulundurulur:
  - Işınlama Miktarı
  - Sıcaklık
  - Faydalanma Oranı (Kayal, 2009).
- Oryantasyon  
Dünya eğik şeklinden dolayı güneşten aldığı ışınları direk güney yönünden almaz. Gerçek Güney olarak adlandırılan yön eğikliğin getirdiği sapmayı

giderir ve uygun azimut ile etkin bir şekilde güneş ışığından yararlanılır. Panel sistemlerinin kuzey-güney yönlü yerleştirilmesi ışınım miktarına ve bu yöndeki yerleştirmelerin %10 oranında bir artış ile etkinlik sağlaması sebebiyle tercih edilir. Öte yandan doğu batı yönündeki yerleştirmelerde ise %8 oranında bir düşüşe sebep olmaktadır (Kayal, 2009).

Bir diğer problem ise yapılardaki en uygun uygulama yüzeyi olan güney cephelerinin termal dengenin korunması için kütleli olarak cam oranının az olmasıdır. BIPV panel sistemlerinin en etkin uygulama yerlerinden olan pencere sistemleri yapının termal dengesini sağlayan penceresiz kütleli azaltarak ısı yalıtımı ile ilgili sorunlar meydana getirmektedir. Bu açıdan bakıldığında oryantasyonun sağlanması büyük önem taşımaktadır (Kayal, 2009).

#### - Eğim Açısı

BIPV panel sistemlerinde panellerin yerleşimindeki en önemli faktör enlemdir. Yaz ve kış aylarında farklı açılarla inen güneş ışınlarının solar hücrelere en etkin bir biçimde toplanması ancak uygun bir eğim açısı ile mümkündür. Eğim açısının azaltıldığı yaz aylarında güneş ışınlarından maksimum ışınım elde edilir. Ayrıca dik bir eğim açısı ise kış aylarında panellerin maksimum ışınım oranına ulaşmasını sağlar (Kayal, 2009).

#### - Dönüştürücü (Inverter)

Dönüştürücüler solar hücrelerin emdiği enerjiyi yapıda kullanılabilir hale getiren PV panel sistemlerinin en önemli 2. bileşenidir. Öte yandan panellerden sonra en yüksek fiyata sahip olan bu bileşen %85-%95 aralığında bir verim ile çalışır (Kayal, 2009).

#### - Kirlilik ve Toz

Kirlilik ve Toz gibi faktörler panel verimliliği üzerinden dikkat edilmesi gereken bir düşüşe sebep olmaktadır. %7 ile %25 dolaylarında verimlilik oranında azaltmaya sebep olabilecek olan kirlilik ve toz faktörleri lokasyonun yağmur performansı ve temizlik düzenlemeleri ile bu oranda azalma sağlanabilir. Kar örtüsü, kentsel alan, tarımsal, endüstriyel ve ticari faaliyetler vs. gibi çevresel faktörler kir ve toza sebep olmaktadır (Kayal, 2009).

#### - Gölge

Gölgeleme PV panel sistemlerinin uygulanma aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biridir. Özellikle yüksek katlı binalarda bitişik

ya da yakın yapılardan kaynaklı meydana gelen gölgeleme ciddi enerji kayıplarına sebebiyet verebilmektedir (Kayal, 2009).

- Kablolama ve Uyumsuzluk

Panel Sistemlerinde kablolama sistemin akım dengesi ile alakalıdır. Panel giriş çıkışlarındaki I-V ( akım-volt) farklılıkları uyumsuzluğa sebep olmaktadır. Bu da verimliliği etkilemektedir (Kayal, 2009).

BIPV panel sistemleri uygulama lokasyonlarına göre adlandırılmakta ve farklı formları ile karşımıza çıkmaktadırlar.

BIPV panel sistemleri teknolojisi halen gelişmekte olan bir alandır. BIPV panellerinin cephede kullanılıyor oluşu çatıdaki panel sistemleri ağırlığını azaltma avantajını da sağlamaktadır. Öte yandan cephenin ve çatının etkin bir şekilde kullanılması ile birlikte maksimum panel sayısına ulaşıp büyük oranlarda kar elde edilebilir (Salam, Ramli, Ahmed, & Amjad, 2015).

BIPV panel sistemleri yüksek katlı yapıların çeşitli yerlerinde kullanılabilir üzere farklı şekillerde tasarlanmışlardır. BIPV panel sistemlerinin uygulama alanları çeşitleri şu şekildedir:

BIPV sistemlerinin uygulama alanlarında kullanılan teknolojiler PV panel sistemlerinden bazı noktalarda farklılaşmakta ve özellikle kapladığı alan ve ağırlık anlamında büyük farklılıklar göstermektedir. BIPV panel sistemlerinin yukarıda sıralanan uygulama alanlarında uygulama şekilleri ise genellikle glazing denen camlama ya da sırlama olarak gerçekleştirilmektedir. PV panel sistemlerinin yüksek katlı binalarda BIPV versiyonu olarak farklı yapım şekillerinde uygulanabilir. Bunlar Pencere Tabanlı (Window Based) ve Metal Bazlı (Metal Based) olmak üzere iki çeşittir:

Pencere Tabanlı (Window Based): Pencere ve pencere sistemlerine uygulanan BIPV panel sistemlerinden olan Window-Based mevcut binalara uygulanabilen tek PV panel türleridir. BIPV panel türlerinin yüksek katlı binalarda pencere sistemlerine uygulanan çeşitleri cam üzerine cam uygulama şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda en sık kullanılan PV modülleri ise şu şekildedir: (Kayal, 2009).

1. Pencere Bazlı Kristal Silikon Modüller ( Tek Kristalli- Çok Kristalli)
2. İnce Film Modülleri: Daha önce PV panel hücrelerinde anlatılan İnce Film (Thin-Film) modülleri Amorf Silikon, CdTe ve CIS modülleri olarak

bilinmektedir. Bu modüller yapıdaki cam yüzeylerin hemen alt kısımlarına ya da cam yüzeyin üzerine yerleştirilmesi ile oluşan modüllerdir. Bu modüllerden CIS modülü cam yüzeyin üzerine yerleştirilerek, Amorf Silikon ve CdTe modülleri ise cam yüzeyin alt kısmına yerleştirilerek elde edilirler.

Cama uygulama ile elde edilen modüllerin yerine farklı uygulamalar üzerine çalışılmaktadır. Bu farklı uygulamalar şu şekildedir:

- Opaque PV glazing:
- Semi-transparent PV glazing:

Metal Substrat ya da Superstrate PV Panelleri: Bu tür PV panel türleri metal oluşlarından dolayı yapıların çatı ve cephelerinde bulunan sac metallere yerine iyi birer alternatiflerdir. Öte yandan fiyat ve uygulama olarak pencere tabanlı PV panel uygulamaları kadar uygun değildir. Ayrıca çatı alanı kullanımında limiti olan yüksek katlı yapılarda uygulama oranını azaltır. Bütün sistemde kullanım için uygun değildir (Kayal, 2009).

BIPV panel sistemlerinde Wafer-Based Kristal Silikon modülleri ve Thin Film Modülleri genel olarak en çok kullanılan modül çeşitleridir. Her iki modül çeşidinin kendine ait avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Örneğin: Kristal Silikon Modülleri yüksek verimlilik oranları ile sistemin geri en etkin biçimde çalışmasını sağlamaktadır. Fakat fiyatlarının yüksek oluşu genel maliyeti oldukça arttırdığından PV sistemlerinde başka modül çeşitlerine de başvurulmaktadır. Kristal Silikon Modülleri PV teknolojisinde verimlilikleri en yüksek modül çeşitleri olmaları dolayısıyla fiyat faktörünün kullanım oranını etkilememesi için birçok laboratuvar çalışması devam etmekte ve nispeten çalışmalar ilerledikçe fiyat düşüklüğü sağlanmaktadır.

Bir diğer yüksek kullanım oranına sahip Thin Film Modülleri ise 2000 lerinde başına kadar pazar payı %10 civarında kalan bir modül olmuştur. Verimlilik olarak daha düşük olması ise bu oranın sabit kalmasına ya da düşmesine sebep olmuştur. Ancak yenilenebilir enerjiye olan yatırımların artması ve Silikon maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle 2000'li yıllarından başından sonra Thin Film Modüllerinin Pazar payında artış görülmüş ayrıca talebin artması, bu modül üzerinde yapılan çalışmaların artmasını ve verimlilik oranının iyileştirilmesini sağlamıştır (Kayal, 2009).

BIPV panel sistemlerinde PV panellerinin bina yapı elemanları ile entegre edilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Eğimli Cam (Sloped Glazing):

Yapılardaki gün ışığı problemini ortadan kaldırmak için alüminyum çerçeveli cam sistemlere uygulanan solar modüllerdir. Eğimli camlar seralarda, atriumlarda, eğilim duvarlarda uygulanırlar. Bu yöntemde kullanılan PV camları normal camlara nazaran daha az şeffaftır. Gün ışığı miktarını etkileyen bu şeffaflık farkının optimize edilmesi için örneğin: Kuzey Yarımküre' deki bir yapının güneye bakan cephesine Eğimli Cam Yöntemi ile uygulanacak solar cam modülleri cephenin minimum %20 sine tekabül etmelidir. Bu oran yeterli beslemenin sağlanması için Kristal Silikon modülü kullanılırken %24 iken İnce Film modülü kullanılırken %32'dir.

2. PV Panelli Eğimli Duvarlar (Inclined Walls with PV Panels):

PV panelli eğimli duvarlar eğimleri dolayısıyla verimliliği artırıcı bir etki sağlar. Bu yöntem ile PV panelleri yalnızca cam yüzeylere değil cephedeki bütün yapı elemanlarına uygulanabilir.

3. Sabitlenmiş Güneş Şemsiyeleri (Fixed Sunshades):

Sabitlenmiş güneş şemsiyeleri yönteminde parlamayı azaltmak için gölgelemeden yararlanılmaktadır fakat bu durum gün ışığı erişiminde azalmaya sebep olmaktadır. PV panel sistemlerinde en önemli kurulum özelliği panellerin uygun bir eğimde yerleştirilmesidir. Sabitlenmiş güneş şemsiyeleri yapının güneş şemsiyeleri görevini üstlendiği için belirli bir eğimle yerleştirilmektedirler. Bu açıdan uygulama şekilleri ile de verimliliği artırmaktadırlar.

Fakat diğer paneller ya da yapıya bitişik yüksek katlı diğer yapılar gölgeye sebep olabilirler.

4. Dikey Paneller (Vertical Panels):

Pencere sistemlerine ya da cephe sistemlerine uygulanan Dikey PV Panelleri eğimli cam panel uygulamaları ile aynıdır. Bunlar yapıların perde, duvar gibi sistemlerinde kullanılırlar.

5. Hareketli Güneş Şemsiyeleri (Movable Sunshades):

Hareketli Güneş Şemsiyeleri solar enerjinin elde edilmesi için panellerin yerleştirilmesinde en etkili özellik olan eğimin ayarlanabilir olmasını sağlamaktadır. Panellerin eğim açısı manuel olarak ya da elektronik araçlar ile ayarlanabilir. Böylece PV panellerinin eğim ve yönü değiştirilerek verimlilik

oranında ciddi oranda değişiklik sağlar. Öte yandan Panellerin hareket özelliği inşaatın daha fazla maliyetli olmasına sebep olur (Kayal, 2009).

#### **4.4 PV Panel Sistemleri Avantajları ve Dezavantajları**

PV panel sistemleri yenilenebilir enerjinin gelişmekte olan alanlarından biridir. Gelişimini tamamlamamış olması ve ayrıca kullanımda getirdiği kazançlar dolayısıyla bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

PV Panel Sistemlerinin önemli avantajları şu şekildedir:

- Solar hücrelerin ürettiği enerji temiz ve sessizdir. Yakıt olarak yalnızca güneşini kullanan bu sistem canlı ve çevre sağlığını tehlikeye atmazlar.
- Tükenmez enerji sağlayan PV panel sistemleri fosil kaynaklı, çoğunluğu ithal edilen petrol, doğalgaz, kömür, linyit gibi sınırlı ömre sahip enerji kaynaklarına olan ihtiyacı azaltır.
- Görsel olarak dikkat çekicidirler.
- Mevcut yapıların çatılarındaki boş alanların değerlendirilmesini sağlar ve üretilen enerji ile maddi getiri sağlar.
- Parçalanacak hareketli parçaları yoktur.
- Az bakım gerektirirler.
- Gözetim gerektirmezler.
- Büyük ölçekli kurulumlar gerektirmezler. İhtiyaca göre artırılabilir düzenlemelere olanak sağlarlar.
- 20-30 yıllık kullanım ömürleri vardır.
- Uzak bölgelere küçük veya büyük sistemler olarak inşa edilip elektrik kaynağını sağlayabilirler.

PV Panel Sistemlerinin önemli dezavantajları ise şu şekildedir:

- PV panel hücrelerinin üretiminde kullanılan bazı zehirli kimyasallar çok küçük ihtimal olmasına rağmen bazı çevresel etkilere sebep olabilirler.
- PV panellerinin fiyat verimlilik dengesi incelendiğinde yüksek maliyet ve yüksek verimlilik oranlarına ulaşılmaktadır. Yüksek verimliliği sağlamak için harcanan fiyat geleneksel kaynaklardan daha fazladır. Fakat devam eden çalışmalar panel maliyetlerinin azaltılması ve dönüşüm verimliliğinin artırılması yönünde devam etmektedir.



- Yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil kaynaklar arasında dengeli bir kullanım sağlanmadığı takdirde yalnızca güneş tabanlı enerji, enerji açığına yol açabilir (Url-21).





## **5. FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEMLERİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin kullanımında çeşitli sistemler kullanılmaktadır. PV panel sistemleri güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli uygulamalardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerin yapılarda uygulanması ise çeşitli kriterlerin yerine getirilmesi ve bazı hesaplamaların yapılmasını getirmektedir. Bunlar uygulama yapılacak yapının bakışı, yapının çatı alanının yeterli ve uygun büyüklükte olması, PV panellerinin yerleştirileceği alanın güneş ışınlarını alma açıları, PV panellerinin uygun azimut ve eğim ile yerleştirilmesi olarak sıralanabilir. PV panel sistemleri kullanılarak gerçekleştirilecek solar potansiyel hesaplamasında web uygulamaları tabanlı yöntem tercih edilmiştir.

Web uygulamaları tabanlı yöntem, PV panel sisteminin hesaplamalarında şu amaçlarla kullanılmıştır; web uygulamalarının internet aracılığıyla herhangi bir tarayıcı ile her zaman ulaşılabilir olması, platform bağımsız olup bulut bilişim tabanlı oldukları için spesifik bir donanım gerektirmeden ister arazide akıllı bir cep telefonu ile ister ofiste yüksek performanslı bir bilgisayarda kullanılması ile aynı sonucu üretmesi, ücretsiz olması, her alan için hesaplama yapılabilir olması, masaüstü uygulamaları gibi güncelleme yapmaya gerek olmadan kullanılabilir olmasıdır.

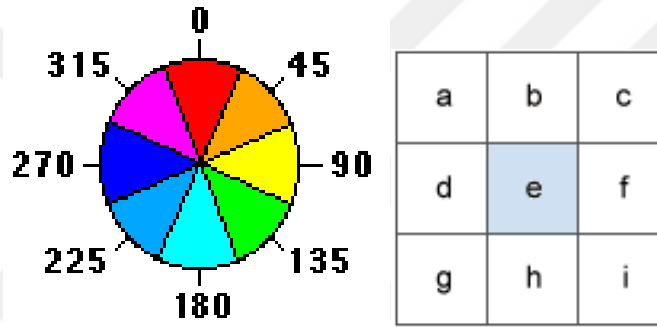
### **5.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Yapılan Hesaplamalar**

Uygulama alanının yerleşime uygunluğunun değerlendirilmesi solar potansiyelin hesaplanmasına yönelik gerçekleştirilecek adımlardan biridir. Bu bağlamda Coğrafi Bilgi Sistemleri uygulama yapılacak mevcut yapının fiziksel çevre analizlerini gerçekleştirmek için tercih edilmiştir ve yapının bulunduğu çevrenin bakı, eğim ve yükselti gibi özelliklerine ulaşmak için kullanılmıştır. Fiziksel çevre analizleri alanın, bakı özelliklerini, yükseltisini, eğimini hesaplayarak kullanılacak yapının en uygun yönelim ile araziye uyarlanmasını sağlayacaktır.

Fiziksel çevre kontrolü Coğrafi Bilgi Sistemleri kapsamında geliştirilen ArcGIS programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, bakı analizi, yükselti analizi ve eğim

analiz yapılmıştır. Bakı analizi fiziksel çevre kontrolü analizlerden olup alandaki her noktanın baktığı yönün hesaplanmasında kullanılır. Bakı analizinde raster formatta kullanılan arazi modeli ile her bir hücreden komşularına olan yönelim değerinde maksimum değişim oranına sahip olan hücre belirlenerek hücrenin bakışı hesaplanır. Bu hesaplama eğim yönünün bulunması olarak da düşünülebilir. Çıkış rasterindeki her bir hücrenin değeri, yüzeyin o konumda karşılaştığı pusula yönünü gösterir. Saat yönünde 0 (kuzeyden dolayı) ile 360 (yine kuzeyden itibaren) arasında tam daire şeklinde ölçülür (Url-22).

Şekil 5.1’de bakı yönlerini gösteren değerler ve bu hesaplama yapılırken kullanılan yüzey penceresi görülmektedir. En boy veri kümesindeki her hücrenin değeri, hücrenin eğiminin yönünü gösterir.



Şekil 5.1 : Bakı yönleri ve yüzey penceresi (Url-22).

Fiziksel çevre kontrolü bağlamında yapılan bir diğer analiz ise yükselti analizidir. Yükselti analizi raster formatta kullanılan verinin her bir hücresinin deniz seviyesinden itibaren denk geldiği rakım değeri ile elde edilmektedir (Şekil 5.2).

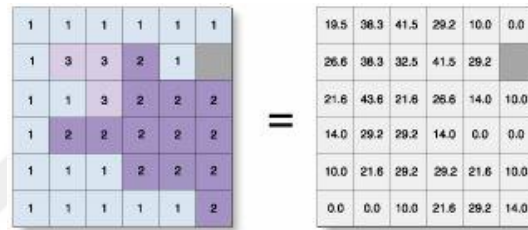
101	92	85
101	92	85
101	91	84

Şekil 5.2 : Raster veri hücre yükselti değerleri (Url-22).

Şekilde 5.2 de görülen raster formatındaki veri hücreli yapıdan oluşmakta ve her bir hücre bir yükselti değerine denk gelmektedir. Bu yükselti değerleri raster formattaki

verinin tamamında geçerlidir. Bu şekilde alanın yükselti analizi elde edilmektedir. Yükselti analizi arazi üzerindeki noktaların yükselti değerlerini kullanarak belirli bir aralık değeri atanarak elde edilen bir analizdir.

Eğim analizi de bakı ve yükseklik analizi gibi raster verisi üzerinden elde edilmektedir. Analiz kullanılan raster veri üzerindeki hücrelerin her birinin z değerindeki maksimum değişim oranına göre belirlenir. Şekil 5.3’de görüldüğü gibi raster veri hücreler, eğim analizi sonrasında her bir hücrenin z-değerindeki değişime göre belirlenip, her bir noktanın nihai eğim oranının elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 5.3 : Raster veri hücreleri ve eğim analizi hücreleri (Url-22).

## 5.2 Web Uygulamaları İle Yapılan Hesaplamalar

Güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen PV panel sistemleri uygulaması çeşitli web uygulama adımları ile elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir. Web uygulamaları aracılığıyla uygulama yapılacak alana düşen güneş ışınlarının geliş açıları, uygulama yapılacak PV panellerinin açısı hesaplamaları, solar radyasyon miktarlarına ve tercih edilen PV panellerinin enerji üretim miktarlarına ulaşım amaçlanmıştır. Bu hesaplamalar Andrew Marsh ve CM SAF PVGIS web uygulamaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 5.2.1 Andrew Marsh Web uygulaması

Andrew Marsh web uygulaması (Url-3) PV panel sistemleri hesaplamaları yapılırken özellikle güneş ışınları geliş açılarının hesaplanmasında ve panel eğim açılarının hesaplamalarında ve solar radyasyon değerlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

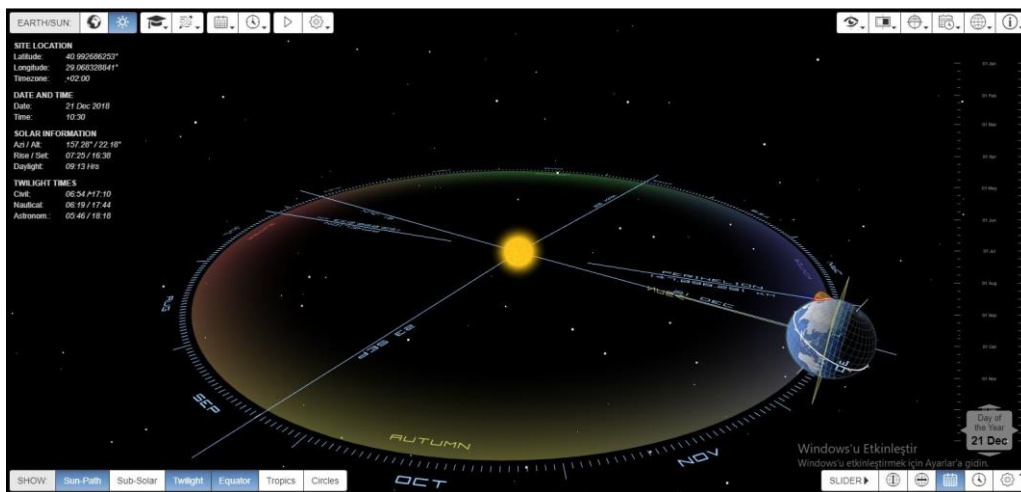
#### 5.2.1.1 Andrew Marsh ile Güneş ışınlarının geliş açılarının hesaplanması

Dünya'nın kendi etrafında ve Güneş'in etrafında dönüşü sonucunda ve Dünya'nın sahip olduğu eliptik şekil ile eksen eğikliği gibi özellikler sebebiyle güneş ışınları farklı açılarla yeryüzüne düşmektedir. Bu farklılık mevsimleri meydana getirmekte ve

sıcaklık farklılıkları ile sonuçlanmaktadır. Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açıları yıllara, aylara, haftalara, günlere ve günün farklı saatlerine göre farklı değerlere sahiptir.

Güneş gündönümü olarak adlandırılan ekinoks ve solistis tarihlerinde düşme açısında değişiklik yaşamaktadır. 21 Aralık, 21 Mart, 21 Haziran ve 23 Eylül tarihleri ekinoks ve solistis yani gün dönümü tarihleri olarak bilinirler. 21 Aralık tarihi solistis tarihi olup bu tarihten 21 Mart tarihine kadar geçen sürede güneş ışınları yeryüzüne giderek artan bir açıyla düşmektedir. 21 Mart ekinoks tarihi olup bu tarihten 21 Haziran tarihine kadar geçen sürede ise güneş ışınları giderek daha yüksek açılarla yeryüzüne düşmektedir. 21 Haziran tarihinde güneş olabileceği en yüksek noktadan yeryüzüne düşer ve 21 Haziran tarihi solistis tarihi olup bu tarihten 23 Eylül tarihine doğru güneş giderek azalan bir açıyla yüzeye düşmektedir. 23 Eylül'den 21 Aralık tarihine doğru ise güneş giderek azalan bir açıyla yeryüzüne düşmekte ve bir seneyi tamamlamaktadır (Url-22).

Güneş ışınlarının geliş açılarının sürekli bir değişim içerisinde olması solar PV panel sistemlerinin kurulumunda panel açılarını etkilemektedir. Güneş ışınlarının geliş açılarının hesaplanması ile solar PV panel kurulum açıları belirlenmektedir. Güneş ışınlarının test uygulama alanına hangi açılarla düştüğünün hesaplanması için Andrew Marsh web uygulaması Earth/Sun ve Sun-Path (Url-23) (Şekil 5.4) eklentileri kullanılmıştır.



Şekil 5.4 : Güneş dünya ilişkisi (Url-3).

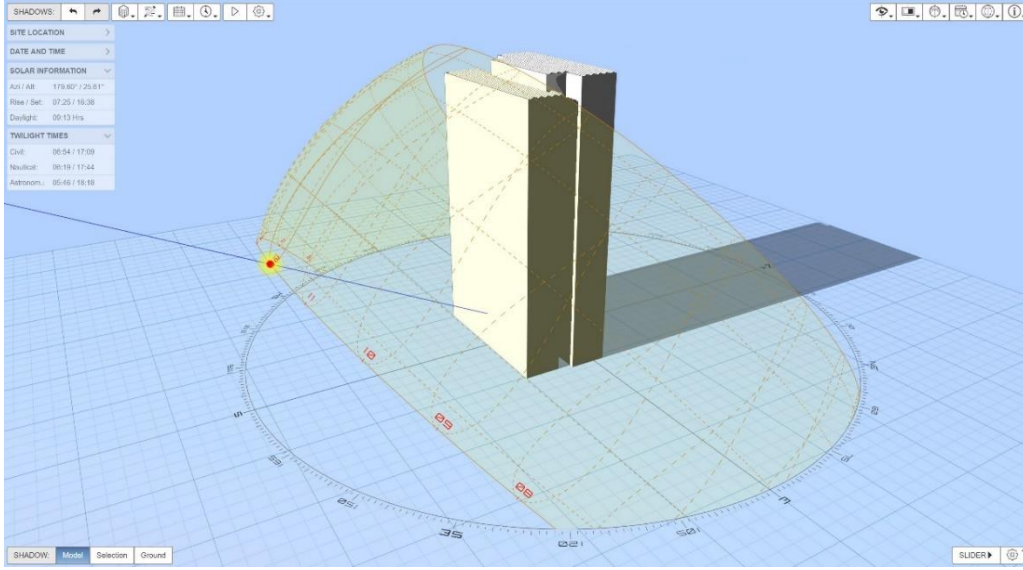
Andrew Marsh web uygulaması Earth/Sun (Url-24) eklentisi Şekil 5.4. görüldüğü gibi enlem-boylam, saat dilimi ve tarih bilgileri girilerek, güneşin verilen noktaya seçilen

tarihte hangi açı ile düştüğünün hesaplanmasına yardımcı olarak, Güneş açısı ve belirlenen konum arasındaki ilişkiyi gösterecek görsel katmanları sağlamaktadır. Web uygulaması aracılığıyla uygulama yapılacak konuma belirlenen her hangi bir tarihe göre güneş ışınlarının hangi açı ile düşeceği bulunur. Aşağıda verilen adımlar sonucunda elde edilen bilgiler ile Güneş ışığı açılarına ulaşılır.

- İlk olarak Andrew Marsh web sitesi ana sayfasından Bölümler (Sections) kısmı açılır ve Web Uygulamalarına ulaşılır. Sunulan web uygulamalarından Earth/Sun eklentisi açılır.
- Earth/Sun eklentisi üzerinden enlem-boylam, saat dilimi ve tarih bilgileri girilir.
- Şekil 5.4’de görülen pencerede Earth-Sun kursoründen güneş merkezli görüntü seçilir ve güneş yolu ayarlarından güneş açısı (sun angle) seçeneği aktifleştirilir.
- Elde edilen görsel ile lokasyon bilgilerinin, tarih ve saat bilgilerinin, solar bilgilerin bulunduğu pencereye ulaşılır.
- Solar bilgilerin bulunduğu satır ve üretilen görsel üzerindeki altitude değeri Güneş ışınlarının seçilen konum ve tarihte yeryüzüne düştüğü açı değerini verir.

### **5.2.1.2 Andrew Marsh web uygulaması ile PV panel açılarının hesaplanması**

Solar PV panel açısı solar radyasyonun maksimum fayda ile kullanılması açısından önem arz etmektedir. Panel açısının hesaplanması ise Güneş ışınlarının yeryüzüne hangi açı ile düştüğüne bağlı olarak ayarlanmaktadır. Solar PV panel sistemleri için açı değerinin önemli olması Güneş ışınlarından faydalanma oranını etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Işınlardan panel yüzeyine dik açıyla düşmesi solar radyasyondan maksimum faydanın sağlanması için gereken kriterlerdendir (Url-22). Bu açıdan ele alındığında solar PV panel açısının hesaplanmasında Güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısının bilinmesi gereken verilerdendir. Solar PV panel açılarının hesaplanmasında Andrew Marsh web uygulamaları Shadows (Url-25) (Şekil 5.5) eklentisi kullanılarak uygulama yapılacak yapı lokasyonuna göre panel açıları hesaplanır.



Şekil 5.5 : Panel açısı, güneş açısı ilişkisi (Url-3).

Şekil 5.5’de görülen yapıda kullanılan panel açılarının hesaplanması için şu adımlar izlenir:

- İlk olarak Andrew Marsh web sitesi ana sayfasından Bölümler (Sections) kısmı açılır ve Web Uygulamalarına ulaşılır. Sunulan web uygulamalarından Shadows eklentisi açılır.
- Shadows Eklentisi üzerinden enlem-boylam değerleri ve saat dilimi değerleri girilerek azimut ve altitüde açılarına ulaşılır.
- Shadow Model kursoründen istenirse kullanılacak yapı modeli eklentiye yüklenebilir ya da hazır model eklenerek Güneş ışınlarının yapı ile görsel ilişkisi elde edilir.
- Ayrıca Sun-Path Bileşenleri kursoründen güneş açısı (sun angle) seçeneği ile güneşin dünya ufku ile yaptığı güneş açısı aktifleştirilir.
- Web uygulaması ile lokasyon bilgileri girilen konumun güneş ışınları düşme açısını ifade eden altitüde değerine ulaşılır.
- Güneş ışını geliş açısı ile panel yüzeyi arasında  $90^\circ$ 'nin sağlanması kriteri PV panel açısının hesaplanmasını sağlayarak sonuca ulaşılmasını sağlar. Bu belirlemelere göre işlemlerin düzlem üzerinde yapıldığı varsayılarak panel açısı hesabı şu şekilde yapılır (Şekil 5.6):

Düzlem=Güneş Işınları Düşme Yüzeyi=Panel Kurulum yüzeyi=EW= $180^\circ$

Güneş Işığı Geliş Açısı= Yükseklik Açısı (Altitude)= Sun Angle



Panel Açısı=Düzlem Açısı-(Güneş Işınları Geliş Açısı+90°(Güneş Işını ve Panel Arasındaki Açı))

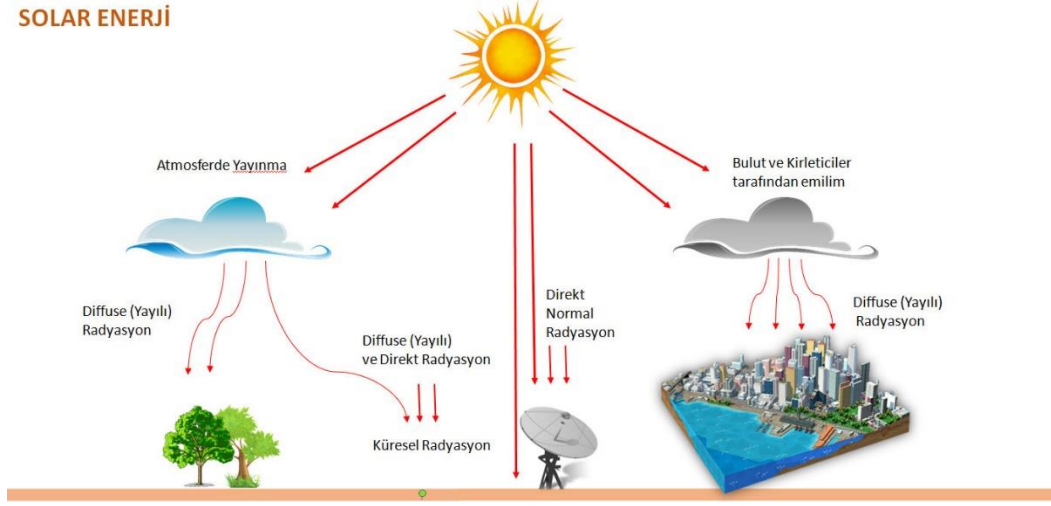


Şekil 5.6 : Güneş ışınları geliş açısı.

### 5.2.1.3 Andrew Marsh web uygulamaları ile solar radyasyon miktarının hesaplanması

Güneşten gelen ışınlar atmosferden yeryüzüne ulaşana kadar bazı kayıplara uğrayarak miktarında azalmalar yaşar ve o şekilde yeryüzüne ulaşırlar. Gelen güneş ışınımı (radyasyonu) bütün olarak güneşten kaynaklanır; fakat atmosferin içinden geçerken miktar açısından değişime uğrar. Bu değişim atmosferde yayılma ile topografya ve yüzey elemanlarına uğrayarak, bulutlar ve kirleticilerce tutularak dünyanın yüzeyinde doğrudan, dağılık ve yansıyan (Şekil 5.7) bileşenler olarak toplanırlar. Direkt radyasyon (Direct Radiation), güneşten direkt olarak engelsiz olarak yer yüzeyine ulaşır. Diffüz ya da Dağılık radyasyon (Diffused Radiation), bulutlar ve toz gibi atmosferik bileşenler tarafından dağılmıştır. Yansıyan radyasyon (Reflected Radiation) ise yüzeyde konumlanan yüzey elemanlardan yansıyarak elde edilen ışımalarıdır. Böylece doğrudan, dağılık ve yansıyan radyasyonun toplamı ile de toplam veya küresel güneş ışınması (Global Radiation) elde edilir (Url-22).

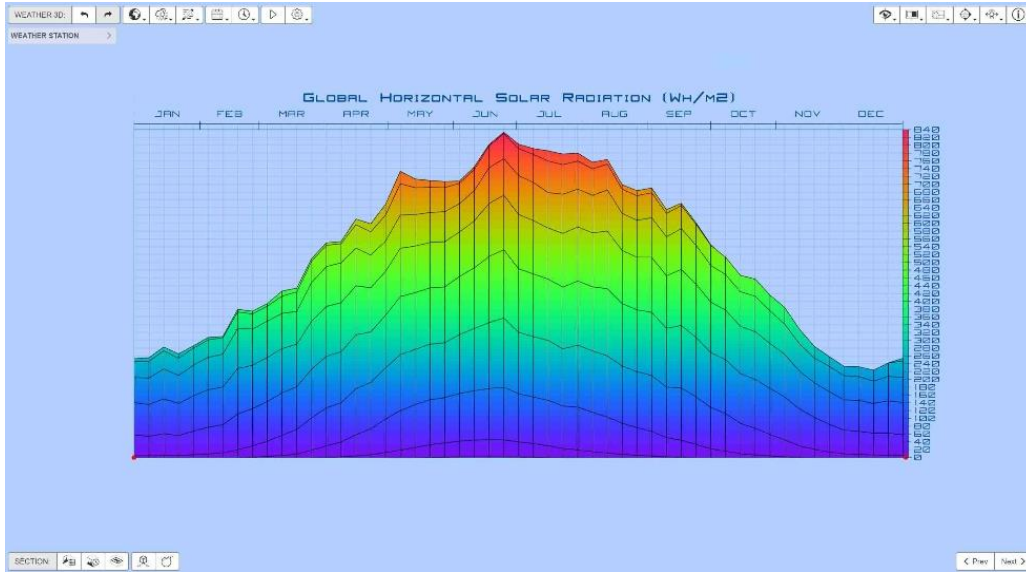
## SOLAR ENERJİ



Şekil 5.7 : Direkt, dağınık, yansayan ve küresel ışımlar.

Doğrudan radyasyon toplam radyasyonun en büyük bileşeniyken, yaygın radyasyon en büyük ikinci bileşendir. Yansıtılan radyasyon genellikle, kar örtüsü gibi yüksek oranda yansıtıcı yüzeylerle çevrili konumlar haricinde, toplam radyasyonun sadece küçük bir bölümünü oluşturur (Url-22).

Solar radyasyon miktarının hesaplanmasında Andrew Marsh web uygulamalarına başvurulmuştur. Çalışma kapsamında kullanılacak olan Andrew Marsh web uygulaması solar radyasyon miktarını yerel iklim verilerini kullanarak elde etmektedir. Web uygulama araçlarından Weather 3D (Url-26) (Şekil 5.8) eklentisi ile aylara ve günlere göre solar radyasyon üretim miktarlarına ulaşılmaktadır.



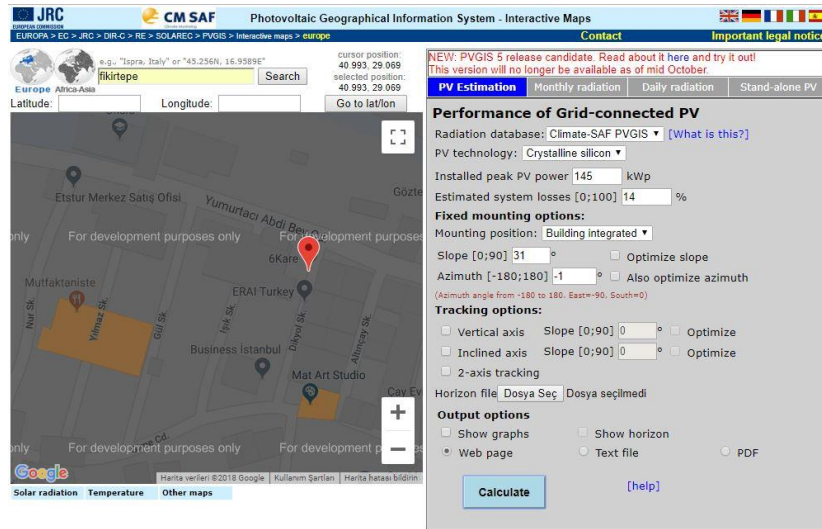
Şekil 5.8 : Ay ve günün saatlerine göre küresel veya toplam ışıma.

Andrew Marsh web uygulamaları Weather 3D eklentisi kullanılarak belirlenen lokasyonun solar ışınım değerleri aylara göre elde edilip Şekil 5.8'deki gibi grafikler elde edilebilmektedir. Sonuçlara ulaşmak için şu adımlar izlenir:

- İlk olarak Andrew Marsh web sitesi ana sayfasından Bölümler (Sections) kısmı açılır ve Web Uygulamalarına ulaşılır. Sunulan web uygulamalarından Weather 3D eklentisi açılır.
- Meteoroloji İstasyonu (Weather Station) bölümünden lokasyon tercihi ile kayıtlı hava durumu bilgileri yüklenir.
- Girilen bilgiler sonucunda web uygulaması Şekil 5.8'de 3D olarak aylara ve saatlere göre solar radyasyon miktarlarını gösteren grafik üretir.

### 5.2.2 CM SAF PVGIS web uygulaması

Avrupa Birliği Komisyonu Uydu Uygulaması Geliştirme Birliğinin Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps (Url-27) olarak geliştirdiği web uygulaması ile çalışma alanının potansiyel aylık ve günlük solar radyasyon verilerine, toplam panel enerji üretim miktarlarına ve ortalama panel açısı değerlerine ulaşılır. Web uygulaması Google Haritalarını ve lokal iklim verilerini kullanıp gerekli tablo ve grafik verilerini üretmektedir. Şekil 5.9'da CM SAF PVGIS web uygulaması ana sayfası görülmektedir.



Şekil 5.9 : CM SAF PVGIS- interaktif harita.

### **5.2.2.1 CM SAF PVGIS web uygulaması ile panel eğim açılarının hesaplanması**

Web uygulaması ile panel açılarının hesaplanması güneş ışınımından maksimum fayda sağlanması açısından önem arz etmektedir. Web uygulaması gerekli veri girişi ile aylık panel eğimlerine ve sabit açılı panel sistemleri için optimum bir panel açısına ulaşımı sağlar. PV panel sisteminde kullanılacak eğim açıları şu şekilde elde edilir:

- İlk olarak CM SAF PVGIS ana sayfasından Aylık Işınım (Url-28) (Monthly Radiation) bölümüne ulaşılır.
- Aktif Google haritasından uygulama yapılmak istenen lokasyon seçilir.
- Aylık, Işıma bölümündeki maddelerde Uygun Eğim Açısı (Optimal Inclination Angle), seçeneği aktifleştirilir.
- Bütün seçimler sonucunda hesaplama yapılmış olur ve sonuç ürün olarak uygun panel eğim açısı ile aylara göre değerler tablosu elde edilir.

### **5.2.2.2 CM SAF PVGIS web uygulaması ile solar radyasyon miktarlarının hesaplanması**

CM SAF PVGIS web uygulaması panel eğimi, panel türü, panel cinsi ve toplam panel gücü, yersel ölçümler ve konum bilgileri verileri kullanılarak lokasyonun solar radyasyon miktarını aylara göre hesaplamaktadır. CM SAF PVGIS web uygulaması ile ayrıca grafik üretme seçeneği ile radyasyon verilerinin grafiğini üretmektedir. Solar radyasyon değerlerini elde etmek özellikle konum bilgisinin önemini göstermektedir. Seçilen herhangi bir noktaya göre bu değerler farklılık göstermektedir. Solar radyasyon miktarının aylara göre hangi değerlerle yeryüzüne düştüğü şu adımlar izlenerek hesaplanır:

- İlk olarak CM SAF PVGIS ana sayfasından PV hesaplama (PV Estimation) bölümümü seçilir.
- İnteraktif harita bölümünde uygulama yapılacak test uygulama alanı konumu seçilir.
- Web uygulamasında Işınım Veri Tabanı (Radiation Database) bölümü ile uygun veri tabanı seçimi yapılır.
- PV teknolojisi bölümünde test uygulama alanında kullanılacak PV panel türü seçimi yapılır.
- Kullanılan panel türüne göre toplam panel gücü elde edilir ve kurulu panel gücü bölümüne (installed peak power) bilgi girişi yapılır.
- Montaj Konumu bölümünde BIPV panel sistem türü seçilir.

- Panel optimum eğim açısı hesaplama yöntemi ile elde edilen optimum açı değeri veri girişi yapılır.

### 5.2.2.3 CM SAF PVGIS ile PV panellerinin enerji üretim miktarının hesaplanması

Solar radyasyon değerleri ile elde edilebilecek enerji üretim miktarı, panel türleri ve bu türlere göre yapılacak hesaplamalar, aylık solar radyasyon miktarı gibi veriler ile elde edilebilmektedir. PV panel sistemleri ile elde edilecek enerji miktarının hesaplanmasında CMSAF PVGIS web uygulamasına başvurulmuştur. Hesaplama yapılacak panel türü, panel toplam gücü ve uygun panel açısı verileri ile solar radyasyon verileri elde edilebilmektedir. Solar radyasyon verileri sonuçları enerji üretim miktarının hesaplanmasında şu adımlar izlenerek kullanılmıştır:

- Solar radyasyon hesaplaması sonucunda elde edilen sonuçlar veri olarak kullanılır.
- Ortalama aylık elektrik üretimi (kWh) miktarı Şekil 5.10'da verilmiştir. Bu değer kurulan sistemin aylık enerji üretimi miktarı ile yıllık ürettiği enerji bilgisine ulaştırır.

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 156.0 kW (crystalline silicon)  
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 14.2% (using local ambient temperature)  
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%  
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
 Combined PV system losses: 28.2%

Fixed system: inclination=31°, orientation=0°

Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	275.00	8520	2.32	71.8
Feb	367.00	10300	3.07	86.1
Mar	551.00	17100	4.70	146
Apr	631.00	18900	5.55	166
May	740.00	22900	6.68	207
Jun	763.00	22900	7.06	212
Jul	799.00	24800	7.42	230
Aug	749.00	23200	7.07	219
Sep	632.00	19000	5.86	176
Oct	486.00	15100	4.31	134
Nov	368.00	11100	3.16	94.8
Dec	255.00	7910	2.12	65.9
<b>Yearly average</b>	<b>552</b>	<b>16800</b>	<b>4.95</b>	<b>151</b>
<b>Total for year</b>		<b>202000</b>		<b>1810</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)  
 $E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)  
 $H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)  
 $H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Şekil 5.10 : Solar radyasyon sonuçları.

- Test uygulama yapısında kullanılan bütün panel türleri için yapılan bu işlem sonucunda elde edilen yıllık enerji miktarları toplamı kurulu sistemin üreteceği toplam enerjiyi verir.



## 6. ÇALIŞMA ALANI, KULLANILAN VERİ ve TEST ALANI UYGULAMASI

Tez kapsamında fotovoltaik (PV) panel sistemleri ile elde edilecek enerji miktarının hesaplanması için seçilen test bölgesinde bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama için ücretsiz web tabanlı Andrew Marsh ve CM SAF PVGIS olmak üzere iki farklı uygulama kullanılmıştır. Fiziksel çevre analizleri için ArcGIS programı, yapı modellenmesi için Autodesk Inventer masaüstü programı kullanılmıştır.

### 6.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri

Bu tez çalışması kapsamında İstanbul İli Kadıköy İlçesi Fikirtepe Kentsel Dönüşüm Alanı içinde yer alan ticari bir yapının test çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Fikirtepe Kentsel Dönüşüm Alanı İstanbul için belirlenmiş olan öncelikli 18 kentsel dönüşüm alanından biridir. Çalışma alanı konum itibariyle önemli bir konumda yer almaktadır böylece gerçekleştirilen dönüşüm ve detayları da önem arz etmektedir. Şekil 6.1 ile İstanbul Kadıköy ilçesi sınırları içerisinde yer alan Fikirtepe Kentsel Dönüşüm Alanı gösterilmektedir.



Şekil 6.1 : Çalışma bölgesi.

Çalışma kapsamında Kadıköy ilçesi, Merdivenköy Mahallesi sınırları içerisinde bulunan ve 2011 Fikirtepe Kentsel Dönüşümü kapsamında inşaa edilen 22 katlı bir ofis projesi test alanı olarak kullanılmıştır (Çizelge 6.1) . Seçilen yapı için PV panel sistemleriyle güneş enerjisi potansiyeli incelenmiştir.

Bu çalışmada, test alanı olarak seçilen ofis binası binaya ait plan kullanılarak modellenmiştir. Bu model üzerinden kaç adet panel kullanılacağına karar verilmiştir.

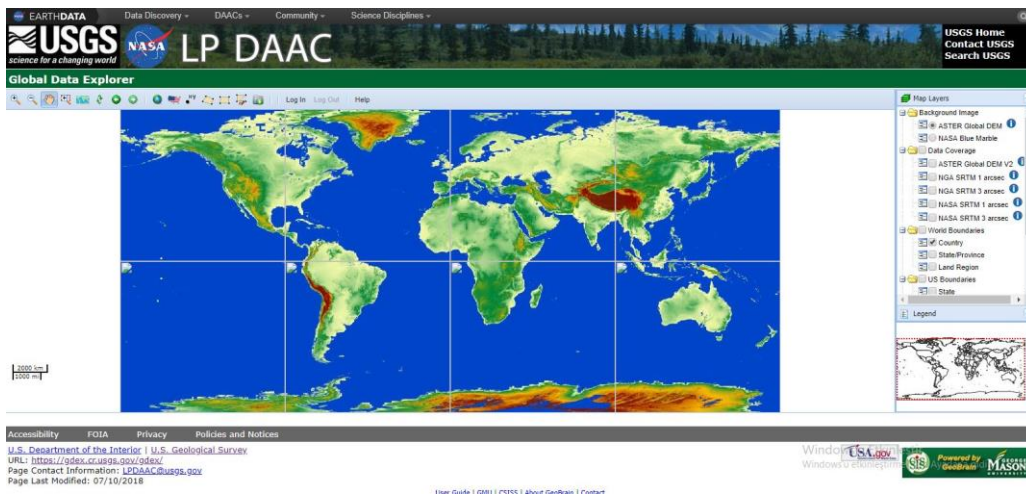


Autodesk Inventer ürünü kullanılarak yapılan model 22 katlı olup, taban boyutları (Çizelge 6.1) 56X30 m'dir.

Çizelge 6.1 : Yapı detayları.

Blok	B
Kullanım Tipi	Ofis
Ofis Sayısı	189
Kat Yüksekliği	3,85 m
Yapı Taban Boyutları	56 m x 30 m
Çatı Alanı	56 m x 12 m

Bu tez çalışması kapsamında farklı uygulama adımları için farklı veri grupları kullanılmıştır. Fiziksel çevre kontrolü analizlerinin gerçekleştirilmesi için ücretsiz olarak erişim sağlanabilen ASTERGDEM (Gelişmiş Uzay Havası Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi- Küresel Dijital Yükseklik Modeli) sayısal yükseklik modeli verisi kullanılmıştır (Şekil 6.2). ASTERDEM- Global Data Explorer web uygulaması aracılığıyla elde edilmiştir (Url-29). ASTERGDEM dünya karasal alanlarının %99'unu kapsayacak şekilde 83 derece kuzey enleminden 83 derece güneyine kadar hizmet vermektedir (Url-29). ASTER GDEM V2 verileri, Dünya Çapında Arazi İşlemleri Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi'nden (LP DAAC) kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmaktadır. Çizelge 6.3 sayısal yükseklik modeli özelliklerini göstermektedir.



Şekil 6.2 : NASA-ASTERDEM web uygulaması.



**Çizelge 6.2 :** NASA-ASTERDEM sayısal yükseklik modeli.

<b>Datum</b>	WGS84
<b>Piksel Boyutları</b>	27mX27m
<b>Bit</b>	16 Bit
<b>Kapsam</b>	İstanbul İli

Tez kapsamında fiziksel çevre kontrolü analizleri için ASTERDEM ile yükseklik, eğim ve bakı haritaları üretilmiştir.

Bu çalışmada, PV sistemleri uygulamasında kullanılacak BIPV panel sistemleri için 2 tür panel çeşidi tercih edilmiş olup çatı ve cephe sistemleri için ayrı türlerde panel kullanılmıştır (Şekil 6.3).



**Şekil 6.3 :** Bosch marka kristal silikon-thin film panel boyutları (Url-30).

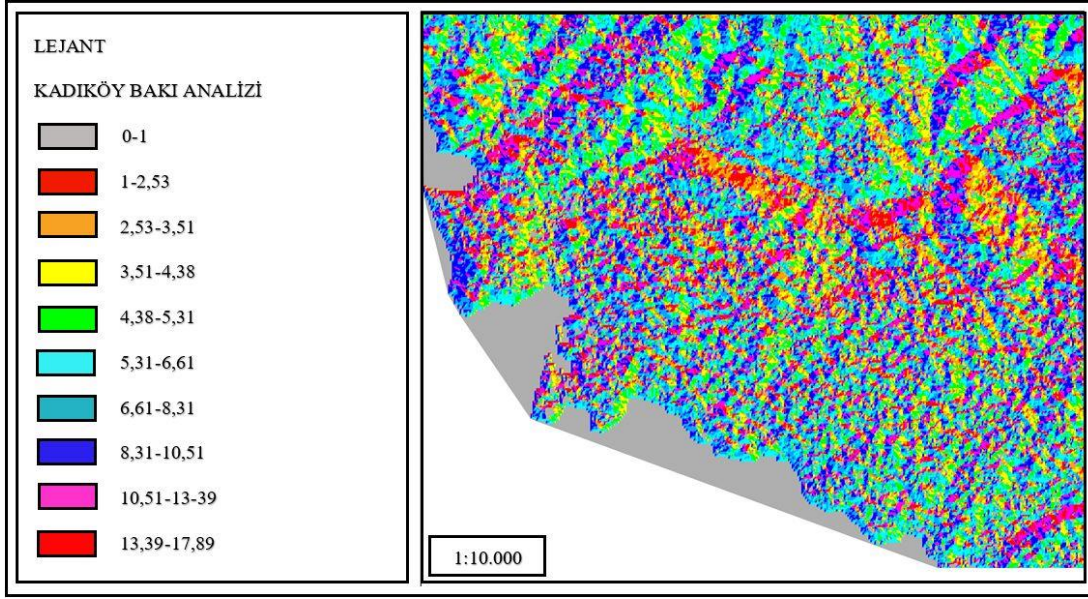
Bosch Markası Avrupa-Asya Tipi Kristal Silikon Panelleri %15 verimlilikle çalışıp çatı bölgesi için tercih edilmiştir. Ayrıca Thin-Film Panelleri ise %12 verimlilikle çalışmakta olup cephe uygulaması için tercih edilmiştir.

## 6.2 Test Alanı Uygulaması

### 6.2.1 Fiziksel çevre kontrolü analizleri

Bu çalışmada, ASTERDEM Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verisi ile yükseklik, eğim ve bakı haritaları üretilmiştir. Öncelikle, ArcGIS mekânsal analiz modülü kullanılarak Kadıköy ilçesinin TIN (Triangulated Irregular Network) verisi oluşturulmuştur. TIN verisi üçgenleşmiş düzensiz ağ verisi olup yüzeyin gösterimi için kullanılan sayısal bir modelledir (Url-22). TIN verisi katman özellikleri kullanılarak arazinin güneşe göre bakım konumlarının verisini sağlayan Bakı (Aspect) Analizi elde edilmiştir.

Şekilde 6.4'de görüldüğü üzere Kadıköy ve çevresi bakı açısından kuzey, güney, doğu, batı, kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güneybatı olmak üzere tüm yönlere bakan bir arazi yönelimine sahiptir. Öte yandan arazi içerisinde düz alanlarda mevcuttur.

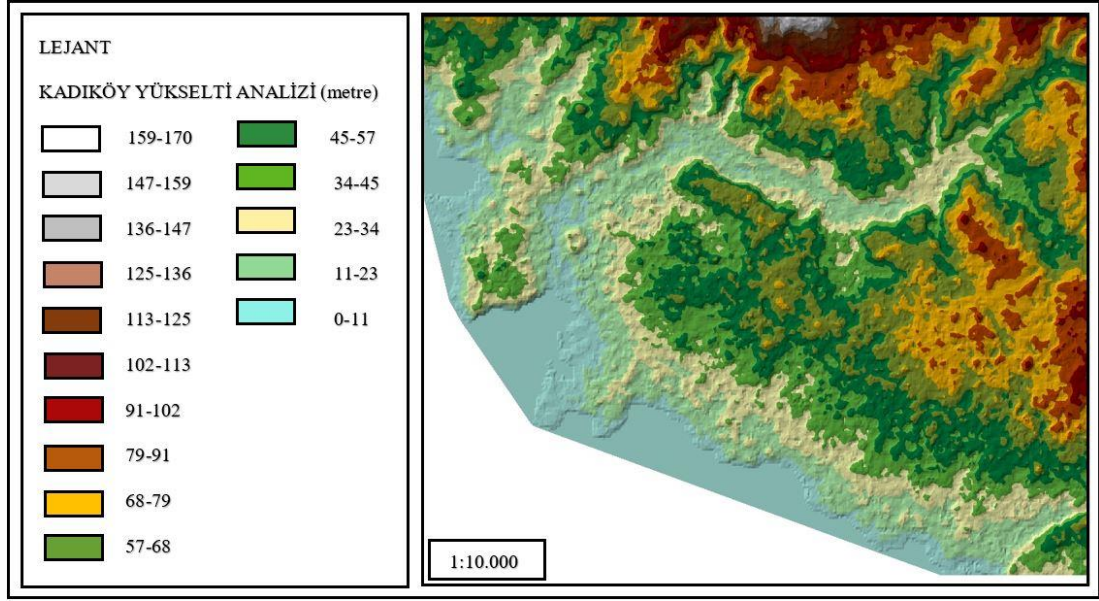


**Şekil 6.4 :** Bakı analizi.

Bakı analizi yapılırken kullanılan raster veri hücreleri üzerindeki mekân bilgisinin kullanılıp kayıtlı koordinattaki yönün ayırt edilmesini sağlar. Bu şekilde ilgili konumun arazi bakı yönü tayin edilmiş olur. Bakı analizi temelde eğim analizi ile ilişkili olup arazinin eğiminin yönünün ifade edilebildiği bir görseldir. Her bir hücrenin raster değeri pusula yönünü belirler (Url-22).

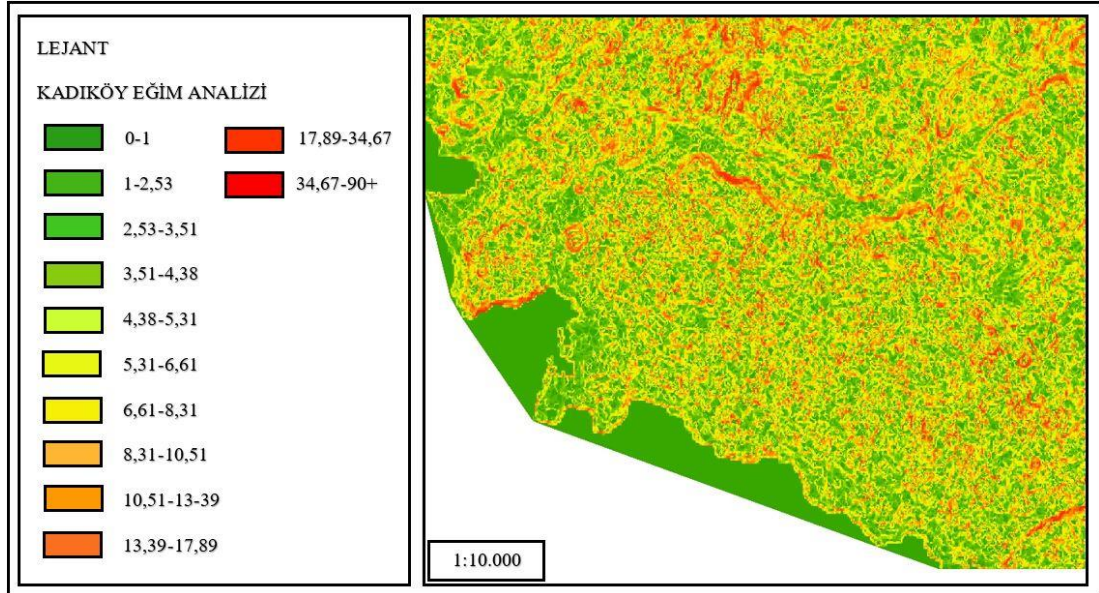
Kadıköy ve çevresine ait yükselti analizi TIN verisi katman özellikleri kullanılarak elde edilen arazi yükseklik değerlerinin elde edildiği bir analizdir. Yükselti analizi arazi üzerindeki noktaların yükseklik değerlerini kullanarak belirli bir aralık değeri atanarak elde edilen bir analizdir (Şekil 6.5). Analiz 1m, 5m, 10m, 25m, 50m gibi aralıklar verilerek arazinin hangi değerler arasında bir yüksekliğe sahip olduğunu gösterir.

Yapılan analiz için 12m’de bir eğri aralığı tercih edilmiştir ve Kadıköy ve çevresindeki alanın yükseklik değerlerinin deniz seviyesi ve 170m arasında olduğu gösterilmiştir. Test alanı olarak seçilen bina 11m ile 45m yükseltileri arasında kalan bir arazi üzerinde inşa edilmiştir



**Şekil 6.5 : Yükseklik analizi.**

Eğim analizi de bakı ve yükseklik analizi gibi TIN verisi üzerinden elde edilmiştir. Analiz kullanılan raster veri üzerindeki hücrelerin her birinin z değerindeki maksimum değişim oranına göre belirlenir (Url-22). Şekilde 6.6 Kadıköy ilçesi ve çevresi için eğim analizi sonucunu göstermektedir. Analiz sonucunda alanın genellikle 0-35 eğim aralığında ayrıca uygulama yapılacak binanın konumlandığı arazinin ise 0-3,5 eğim aralığında olduğu görülmüştür.



**Şekil 6.6 : Eğim analizi.**

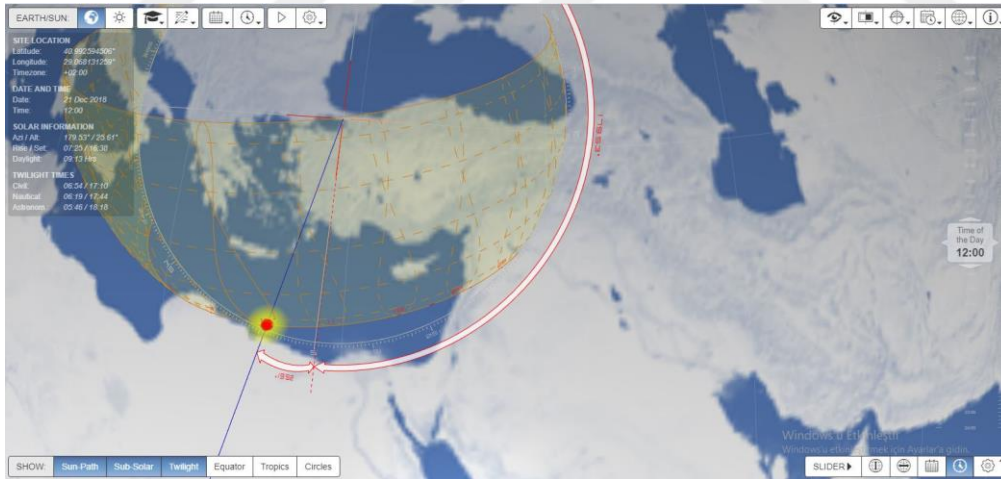
## 6.2.2 PV panel sistem hesaplamaları

Güneş ışığı geliş açısı, panel eğim açısı, solar radyasyon miktarı, PV sistemi enerji üretim miktarı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

### 6.2.2.1 Güneş ışınlarının geliş açılarının hesaplanması

Öncelikle güneş ışınlarının geliş açısı hesaplamaları ücretsiz web uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Test yapısına entegre edilecek BIPV (Çatı ve Cephe) Panel Sistemleri güneşin dünya üzerine değişik açılarla düşme değerlerine ve yönlerine göre şekillenmektedir. Güneşin geliş açısı ise Dünya'nın kendi etrafında ve Güneş'in etrafında dönüşü sonucunda farklılık göstermektedir. Güneş ışınlarının Türkiye üzerine geliş açıları yılın farklı aralıklarında farklılık göstermektedir.

Şekil 6.7'de 21 Aralık gündönümü tarihine göre güneş ışınlarının test yapısına geliş yönünü göstermektedir. 21 Aralık tarihinde güneş ışınlarının geliş açısı en az eğimle yüzeye düşmektedir. 21 Aralık tarihine göre test yapısına güneş açısının kaç dereceyle düştüğü Andrew Marsh web uygulaması hesaplanmıştır. Şekil 6.7' de 21 Aralık tarihine ait güneş ışınları geliş açısı  $25.61^{\circ}$  dir.

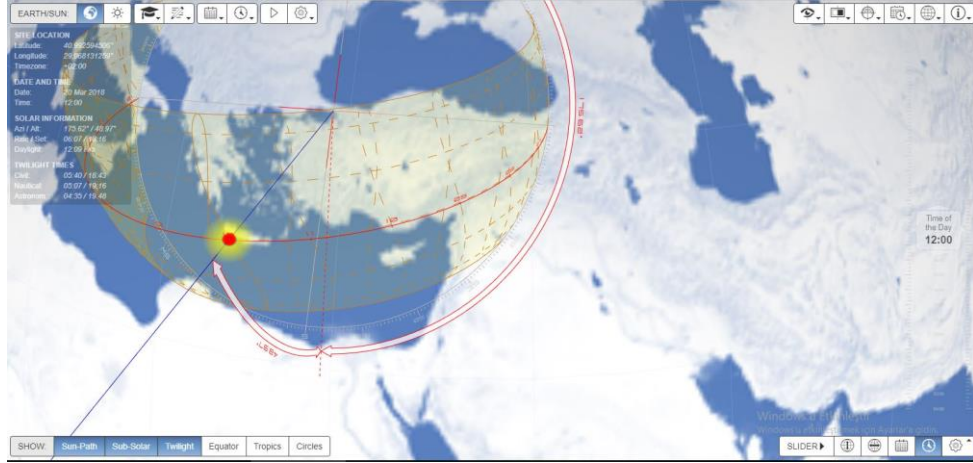


Şekil 6.7 : 21 Aralık tarihine göre güneş ışınlarının Türkiye'ye geliş yönü.

21 Mart ve 23 Eylül ekinoks tarihlerinde güneş ışınlarının geliş açısı aynıdır. Bu tarihlere göre güneş ışınlarının  $40^{\circ}$  kuzey enlemindeki çalışma alanına geliş açısı Andrew Marsh web uygulaması ile hesaplanmıştır:

Şekil 6.8'de 21 Mart tarihine ait güneş ışınları düşme açısı görülmektedir. Andrew Marsh web uygulamasına göre bu tarihte güneş ışınları açısı  $49.36^{\circ}$  dir.

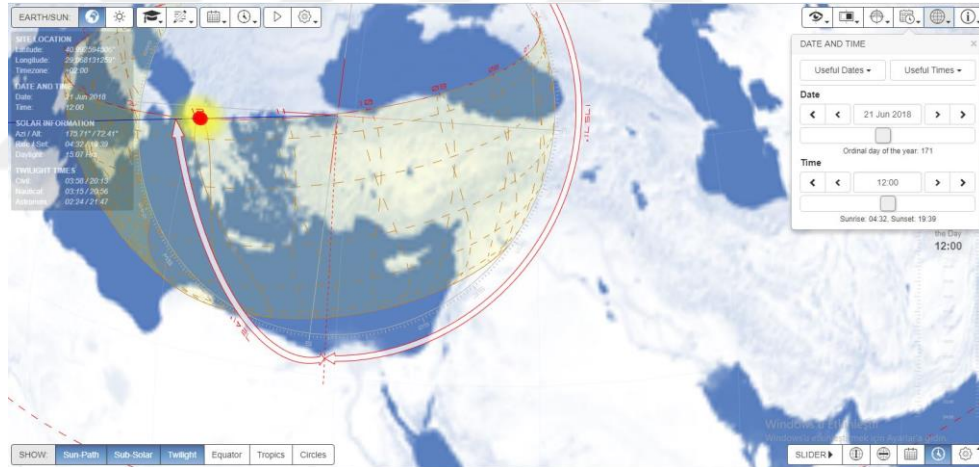




**Şekil 6.8 :** 21 Mart tarihine göre Güneş ışınlarının Türkiye'ye geliş yönü.

Güneş ışınlarının 21 Haziran tarihinde çalışma alanına düşme açısı ise şu şekilde hesaplanmıştır (Şekil 6.9):

Andrew Marsh web uygulaması ile yapılan hesaplamada Şekil 6.9'da görüldüğü gibi Güneş açısı olarak ifade edilen altitude değeri  $72.41^\circ$ 'dir.



**Şekil 6.9 :** 21 Haziran tarihine göre Güneş ışınlarının Türkiye'ye geliş yönü.

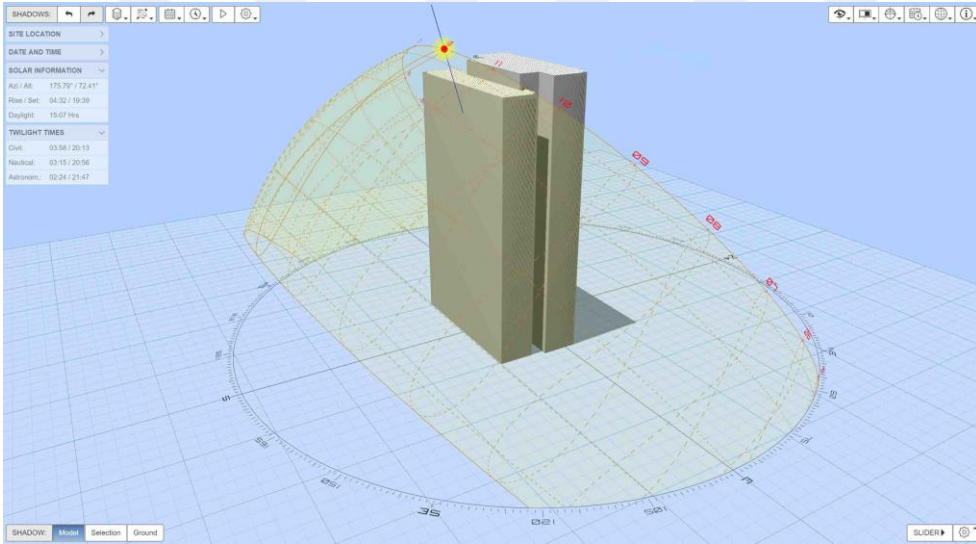
Andrew Marsh Web uygulaması üzerinden elde edilen veriler ile uygulama alanına yıl içinde güneş ışınlarının düşüş açıları hesaplanmıştır. Bu hesaplara göre güneş ışınları uygulama alanına en dar açıyla 21 Aralık tarihinde, en yüksek açıyla 21 Haziran tarihinde düştüğü hesaplanmıştır. Öte yandan 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde güneş ışınlarının yaklaşık  $50^\circ$  ile uygulama alanına düştüğü hesaplanmıştır. Güneş ışınları yıl boyunca yeryüzüne farklı açılarla düşmekte ve bu açılar panel eğimlerini belirlemektedir. Bulunduğu lokasyona ve iklime göre de farklılık gösteren bu değerler en doğru panel açısının belirlenmesinde aktif olarak kullanılır. Andrew Marsh web uygulaması ile elde edilen bir yıla ait güneş açıları Çizelge 6.3'deki olduğu gibidir.

Güneş ışınlarının geliş açıları hesaplanması test uygulaması yapılacak yapının PV çatı uygulamalarında kullanılacak panel eğimlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

### 6.2.2.2 Panel eğim açıları hesaplanması

PV panel eğim açıları Ekinoks ve Solistis tarihleri için hesaplanmıştır. Andrew Marsh web uygulama aracı kullanılarak elde edilen güneş ışınları geliş açıları kullanılarak panel eğim açıları hesaplanmıştır. Şekil 6.10'da 21 Haziran tarihi saat 12:00'a ait yapının güneş alma açısı gösterilmiştir. Güneş ışınları en yüksek olduğu konumda ve en yüksek açı ile yüzeye düşmektedir. Güneş ışınlarının panel üzerine dik açıyla düştüğü kabul edildiğinde yüzey normali ile arada kalan açı panel eğim açısını vermektedir. 21 Haziran tarihine göre panel eğimi şu şekilde hesaplanmıştır:

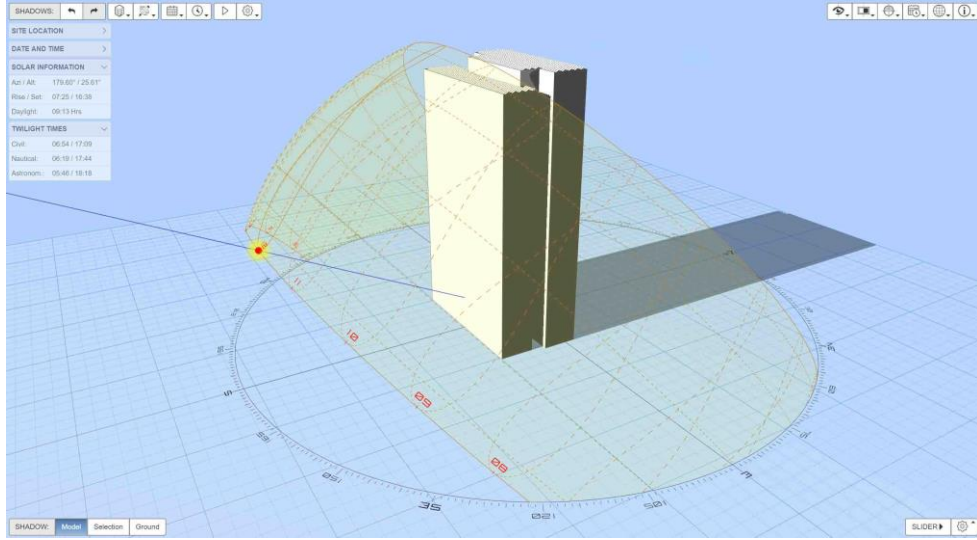
$$- 90^{\circ} - 72^{\circ}41' = 17.59^{\circ}$$



Şekil 6.10 : 21 Haziran Güneş ışınlarının geliş yönü.

Şekil 6.11'de 21 Aralık tarihi saat 12:00'a ait yapının güneş alma açısı gösterilmiştir. Güneş ışınları en düşük olduğu konumda ve en dar açı ile yüzeye düşmektedir. Güneş ışınlarının panel üzerine dik açıyla düştüğü kabul edildiğinde yüzey normali ile arada kalan açı panel eğim açısını vermektedir. 21 Aralık tarihine göre panel eğimi şu şekilde hesaplanmıştır:

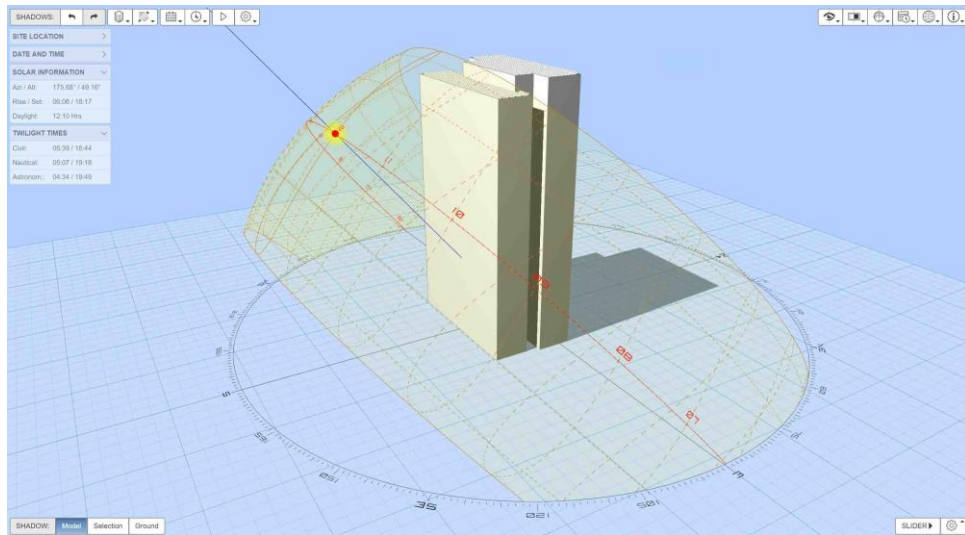
$$- 90^{\circ} - 25.61^{\circ} = 64^{\circ}39' \text{ (Panel Eğim Açısı)}$$



**Şekil 6.11** : 21 Aralık Güneş ışınları ve yapı ilişkisi.

Şekil 6.12’de 21 Mart-23 Eylül tarihleri saat 12:00’a ait yapının güneş alma açısı görülmektedir. Güneş ışınları kış aylarına göre daha yüksekte ve daha yüksek bir açı ile düşmekte, ayrıca yaz aylarına göre de daha alçakta ve daha dar bir açıyla yüzeye düşmektedir. Güneş ışınlarının panel üzerine dik açıyla düştüğü kabul edildiğinde yüzey normali ile arada kalan açı panel eğim açısını vermektedir. 21 Mart-23 Eylül tarihlerine göre panel eğimi şu şekilde hesaplanmıştır:

-  $90^{\circ} - 49.16^{\circ} = 40.84^{\circ}$  (Panel Eğim Açısı)



**Şekil 6.12** : 21 Mart-23 Eylül Güneş ışınları ve yapı ilişkisi.

Andrew Marsh web uygulaması panel açıları hesaplaması yapılmıştır. Uygulama ile test yapısındaki paneller için 365 günlük sonuçlara ulaşılmış olup en büyük ve en küçük açı değerleri de Çizelge 6.4’de verilmiştir.

**Çizelge 6.3 :** Güneş ışınları ve panel eğim açıları.

	<b>Güneş Işınları Açısı</b>	<b>Panel Eğimi Açısı</b>
<b>Ocak</b>	26.06-31.64	63.94-58.36
<b>Şubat</b>	31.92-41.09	58.08-48.91
<b>Mart</b>	41.47-53.31	48.53-36.69
<b>Nisan</b>	53.7-63.93	36.3-26.07
<b>Mayıs</b>	64.23-70.99	25.77-19.01
<b>Haziran</b>	71.12-72.08	18.88-17.92
<b>Temmuz</b>	72.01-67.05	17.99-22.95
<b>Ağustos</b>	66.8-57.47	23.2-32.53
<b>Eylül</b>	57.11-46.01	32.89-43.99
<b>Ekim</b>	45.62-34.69	44.38-55.31
<b>Kasım</b>	34.37-27.03	55.63-62.7
<b>Aralık</b>	27.15-25.96	62.85-64.04

Çizelge 6.4'deki değerlere göre test uygulama alanı aylara ve mevsimlere göre optimum panel eğim açıları oldukça değişiklik göstermektedir. Yaz aylarında 17,92 derecelik eğimlere kadar düşen panel, kış aylarında 64,10 derece ile oldukça yükselmektedir.

Andrew Marsh web uygulaması ile elde edilen güneş panel açılarını sabit bir güneş panelinde kullanmak için uygun tek bir açıya indirgemek çeşitli matematiksel hesapları ve kompleks hesaplamalar yapan programları gerektirmektedir. Ayrıca Web uygulamalarından CM SAF PVGIS Web uygulamasına başvurulmuştur. CM SAF Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi web uygulaması hesaplamaları kullanılarak elde aylık panel eğim açıları ve sabit panel optimum açısı üretilmiştir (Url-4). Web uygulaması optimum panel eğim açısını 31 derece olarak hesaplamıştır.

### **6.2.2.3 Solar radyasyon miktarının hesaplanması**

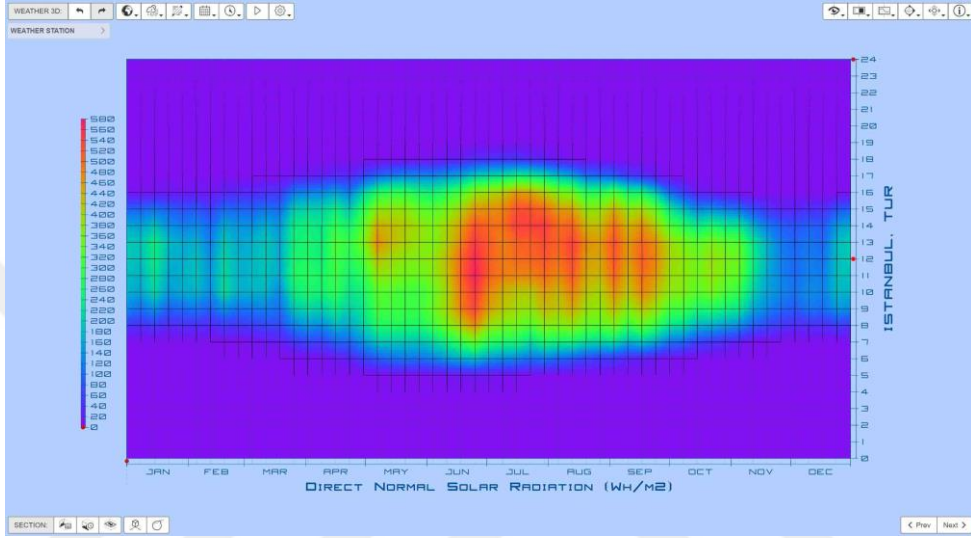
Bu çalışmada iki farklı ücretsiz web uygulaması kullanılarak solar radyasyon miktarı hesaplanmıştır.

Andrew Marsh web uygulaması aracılığıyla alanın solar radyasyon miktarlarına ulaşılmıştır. Sonuçlar şu şekildedir:

Direkt Işıma Haritası



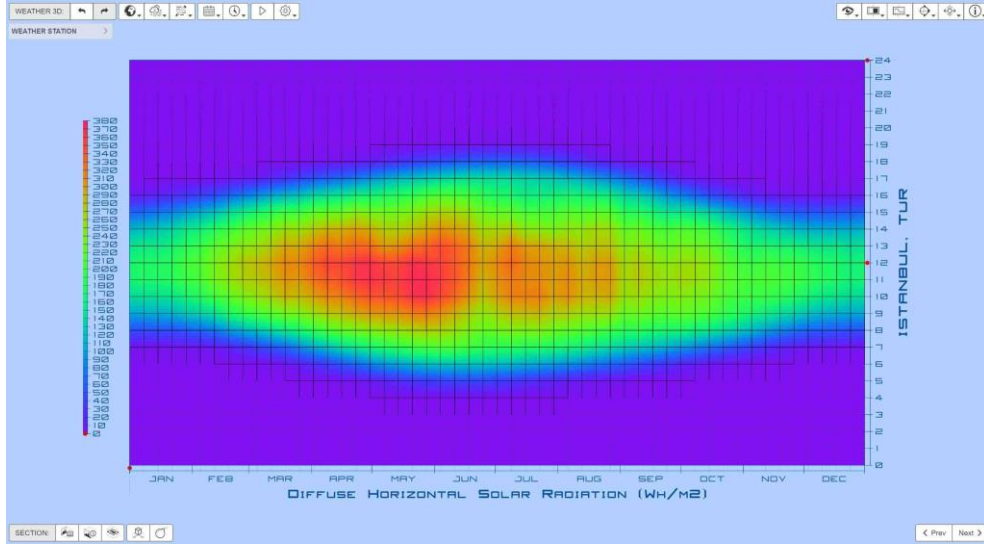
Şekilde Andrew Marsh web uygulaması Weather 3D eklentisi ile gerçekleştirilen solar analiz sonuçları görülmektedir. Analiz sonucu çalışma alanının Direkt-Doğrudan Güneş Işınımının aylara ve günün saatlerine göre değerleri Wh/m<sup>2</sup> cinsinden elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre (Şekil 6.13) haziran, temmuz ve ağustos ayları Direkt-Doğrudan Güneş Işıma açısından en yüksek değerlere sahip olup 520 Wh/m<sup>2</sup> ve üzerindeki değerleri göstermektedir.



Şekil 6.13 : Ay ve günün saatlerine göre direkt-doğrudan Güneş ışıması.

#### Dağınık Işıma Haritası

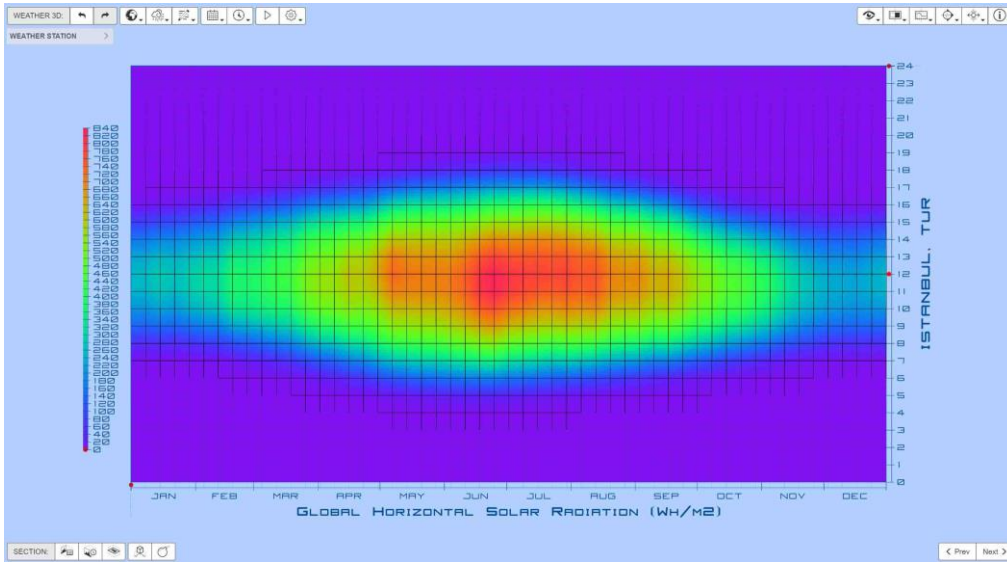
Şekil 6.14'de Andrew Marsh web uygulaması Weather 3D eklentisi ile gerçekleştirilen solar analiz sonuçları görülmektedir. Analiz sonucu çalışma alanının Dağınık Güneş Işınımının aylara ve günün saatlerine göre değerleri Wh/m<sup>2</sup> cinsinden elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre nisan, mayıs ve haziran ayları Dağınık Güneş Işıma açısından en yüksek değerlere sahip olup 350 Wh/m<sup>2</sup> ve üzerindeki değerleri göstermektedir.



**Şekil 6.14 :** Ay ve günün saatlerine göre dağınmık (diffused) Güneş ışması.

#### Global (Küresel Veya Toplam) Işıma

Şekil 6.15’de Andrew Marsh web uygulaması Weather 3D eklentisi ile gerçekleştirilen solar analiz sonuçları görülmektedir. Analiz sonucu çalışma alanının Küresel veya Toplam Güneş Işımının aylara ve günün saatlerine göre değerleri Wh/m<sup>2</sup> cinsinden elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Şekil 6.15’de haziran, temmuz ve ağustos ayları Küresel Güneş Işıma açısından en yüksek değerlere sahip olup 800 Wh/m<sup>2</sup> ve üzerindeki değerleri göstermektedir.



**Şekil 6.15 :** Ay ve günün saatlerine göre küresel veya toplam ışıma.

Ayrıca CM SAF PVGIS web uygulaması ile alanın solar radyasyon değerlerine ulaşılmıştır. Web uygulamasında EK B Çizelge B.1’de görülen sonuçlar elde

edilmiştir. Aynı uygulama üzerinden ayrıca çalışma alanının EK B Çizelge B.2 ve EK B Çizelge B.3’de görülen aylık solar radyasyon değerlerine ve grafiklerine ulaşılmıştır. Diğer sonuçlar ise EK B Çizelge B.4 ve EK B Çizelge B.5’de görüldüğü gibi günlük solar radyasyon değerlerini içerir.

#### 6.2.2.4 PV sistem enerji üretimi hesaplamaları

Yapılan hesaplamalar ile elde edilen sonuçlar ışığında PV panel sistemi uygulaması gerçekleştirilmiş ve aşağıda verilen adımlar izlenmiştir:

- Çalışma kapsamında kullanılacak yapının çatı ve cephelerinin BIPV panel sistemleri çözümleri ile güneş enerjisi açısından kullanılabilir hale getirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda ilk olarak yapının çatı çözümleri yapılmıştır.
- Autodesk Firması Inventor Ürünü masaüstü uygulaması kullanılarak modeli oluşturulan test binasına BIPV çatı ve cephe panelleri yerleştirilmiştir. Toplamda 580 adet çatı paneli ve 860 adet cephe paneli yerleştirilmiştir. Kullanılan panel boyut ve çeşitleri şu şekildedir:

**Çizelge 6.4 : Panel özellikleri (Url-30).**

Panel Türü	Kristal Silikon	Thin-Film
Panel Tedariği (Marka)	Bosch	Bosch
Boyutları	1660cm(x) X990cm(y)	1300cm(x)X1100cm(y)
Panel Sayısı	580	860
Toplam Panel Alan	953 m <sup>2</sup>	1232 m <sup>2</sup>
Panel Verimliliği	%15 (NŞA’da)	%11 (NŞA’da)
Panel Ömrü	25 Yıl	25 Yıl
Panel Güç Değeri	270 W	115 W

- Bosch Markası Avrupa-Asya Tipi Kristal Silikon Panelleri Çizelge 6.5’de görüldüğü gibi %15 verimlilikle çalışmakta ve her bir panel 1,64 m<sup>2</sup> lik alanı kaplamaktadır. Ayrıca Thin-Film Panelleri ise %12 verimlilikle çalışmakta ve toplamda 1,43 m<sup>2</sup>’lik alan kaplamaktadır (EK C Şekil C.1).
- Ofis kullanımındaki yapının yıllık enerji ihtiyacının kWh/m<sup>2</sup>yıl cinsinden değeri 22 kWh/m<sup>2</sup>yıldır (Mezenes, Cripss, Wright, & Bouchlaghem, 2014).

Bu değer doğrultusunda izelge 6.6 ve izelge 6.7’de gösterilen enerji hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Kristal Silikon ve Thin-Film Panel eşitleri için ayrı ayrı yapılan hesaplar şu şekildedir:

**Çizelge 6.5 :** Panel elektrik üretim verileri.

	<b>Kristal Panel</b>	<b>Silikon</b>	<b>Thin-Film Panel</b>
<b>Toplam Panel Sayısı</b>	580 adet		860 adet
<b>Kullanılan Wp</b>	270 Wp		115 Wp
<b>Toplam Panel Gücü</b>	580X270= 156 kW		860X115=99 kW
<b>Toplam Enerji retimi</b>	213000 kWh/yıl		144000 kWh/yıl
<b>Genel Enerji retimi Toplamı</b>		357000 kWh/yıl	

Çizelge 6.6’de görüldüğü üzere Thin-Film Panel Gücü 99 kW (860X115/1000) olarak hesaplanmıştır. Panel gücü panelin yıllık ve aylık üreteceği enerjiyi bulmak için kullanılmıştır.

**Çizelge 6.6 :** Yapı toplam enerji değerleri.

	<b>Ofis</b>	<b>Toplam Ofis</b>
<b>Alan (m<sup>2</sup>)</b>	46X24= 1100 m <sup>2</sup>	1100X20=22000 m <sup>2</sup>
<b>Enerji kWh</b>	22kWh/m <sup>2</sup> yıl (Mezenes, Cripss, Wright, & Bouchlaghem, 2014).	22000X22=484000 kWh/yıl Enerji İhtiyacı

CM SAF Fotovoltaik web uygulaması üzerinden kullanılan yapının koordinatlarına göre Kristal Silikon ve Thin-Film Panel eşitleri için ayrı ayrı elektrik üretimi hesaplamaları (izelge 6.7) yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda şu değerler elde edilmiştir:

Sonuç olarak yıllık toplam üretilen enerji miktarı bulunmuştur. Thin-Film PV panel sistemleri yapıda verilen özelliklerle kullanıldığında günlük ortalama olarak 395 kWh/yıl, aylık ortalama 12000 kWh/yıl ve toplamda 144000 kWh/yıl enerji üretebilmektedir. şekil 6.16’da görüldüğü gibi CM SAF Fotovoltaik web uygulaması zerinden Thin-Film verileri girilmiştir.

NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it [here](#) and try it out!  
This version will no longer be available as of mid October.

**PV Estimation** Monthly radiation Daily radiation Stand-alone PV

**Performance of Grid-connected PV**

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [\[What is this?\]](#)

PV technology: CdTe

Installed peak PV power: 99 kWp

Estimated system losses [0;100]: 14 %

**Fixed mounting options:**

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90]: 31°  Optimize slope

Azimuth [-180;180]: 0°  Also optimize azimuth  
(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

**Tracking options:**

Vertical axis Slope [0;90]: 0°  Optimize

Inclined axis Slope [0;90]: 0°  Optimize

2-axis tracking

Horizon file: Dosya Seç Dosya seçilmedi

**Output options**

Show graphs  Show horizon

Web page  Text file  PDF

**Calculate** [\[help\]](#)

Fixed system: inclination=31°, orientation=0°

Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	192.00	5960	2.32	71.8
Feb	256.00	7180	3.07	86.1
Mar	387.00	12000	4.70	146
Apr	446.00	13400	5.55	166
May	530.00	16400	6.68	207
Jun	550.00	16500	7.06	212
Jul	581.00	18000	7.42	230
Aug	542.00	16800	7.07	219
Sep	455.00	13600	5.86	176
Oct	347.00	10800	4.31	134
Nov	262.00	7870	3.16	94.8
Dec	180.00	5570	2.12	65.9
<b>Yearly average</b>	<b>395</b>	<b>12000</b>	<b>4.95</b>	<b>151</b>
<b>Total for year</b>		<b>144000</b>		<b>1810</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

$H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Şekil 6.16 : Thin-film solar radyasyon verileri.

Yapılan hesaplamalar sonucunda Kristal Silikon PV Panelleri için şu değerler elde edilmiştir:

Çizelge 6.6'da görüldüğü üzere Kristal Silikon Panel Gücü 156 kW(580X270/1000) olarak hesaplanmıştır. Panel gücü panelin yıllık ve aylık üreteceği enerjiyi bulmak için kullanılmıştır. Şekil 6.17'de görüldüğü gibi CM SAF Fotovoltaik web uygulaması

üzerinden Kristal Silikon verileri girilmiştir. Sonuç olarak yıllık toplam üretilen enerji miktarı bulunmuştur. Kristal Silikon PV panel sistemleri yapıda verilen özelliklerle kullanıldığında günlük ortalama olarak 583 kWh/yıl, aylık ortalama 17700 kWh/yıl ve toplamda yıllık 213000 kWh/yıl enerji üretebilmektedir.

NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it [here](#) and try it out!  
This version will no longer be available as of mid October.

**PV Estimation** Monthly radiation Daily radiation Stand-alone PV

**Performance of Grid-connected PV**

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [\[What is this?\]](#)

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 156 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

**Fixed mounting options:**

Mounting position: Free-standing

Slope [0;90] 31 °  Optimize slope

Azimuth [-180;180] 0 °  Also optimize azimuth  
(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

**Tracking options:**

Vertical axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

Inclined axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

2-axis tracking

Horizon file [Dosya Seç](#) Dosya seçilmedi

**Output options**

Show graphs  Show horizon

Web page  Text file  PDF

**Calculate** [\[help\]](#)

Fixed system: inclination=31°, orientation=0°

Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	289.00	8960	2.32	71.8
Feb	385.00	10800	3.07	86.1
Mar	580.00	18000	4.70	146
Apr	667.00	20000	5.55	166
May	782.00	24300	6.68	207
Jun	808.00	24200	7.06	212
Jul	844.00	26200	7.42	230
Aug	795.00	24600	7.07	219
Sep	670.00	20100	5.86	176
Oct	513.00	15900	4.31	134
Nov	386.00	11600	3.16	94.8
Dec	267.00	8260	2.12	65.9
<b>Yearly average</b>	<b>583</b>	<b>17700</b>	<b>4.95</b>	<b>151</b>
<b>Total for year</b>		<b>213000</b>		<b>1810</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)  
 $E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)  
 $H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)  
 $H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Şekil 6.17 : Kristal silikon solar radyasyon verileri.



Bu çalışmada, Andrew Marsh ve CM SAF PVGIS web uygulamaları kullanılarak çalışma alanının PV panel sistem çözümü için gerekli verileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dönüşüm alanındaki uygulama alanı özellikle yaz aylarını kapsayacak şekilde güneş enerjisinden fayda sağlamaktadır. Seçilen ofis özelliği taşıyan test yapısında çatının tamamı ve cephelerden yalnızca güney bakılı olan cephe kullanılarak Kristal Silikon Panel uygulaması ile 213000 kWh/yıl, Thin Film panel uygulaması ile de 144000 kWh/yıl olmak üzere toplamda 357000 kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Seçilen test yapısının özelliklerine göre gerçekleştirilen hesaplamalar ile yapının toplam enerji ihtiyacının 484000 kWh/yıl iken, yapıda kullanılan Kristal Silikon ve Thin-Film Panel sistemlerinin üretimiyle toplamda 357000 kWh/yıl enerji elde edilebildiği görülmüştür. Yapılan hesaplamalar ile tasarım sonucunda önerilen sayıdaki paneller ile ofis kullanımlı yapının enerji ihtiyacının %75'e yakını paneller aracılığıyla karşılanabilmiştir.





## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İçerisinde canlı dokusunu barındıran Dünya yaşamını devam ettirmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Enerji ise zaman içerisinde hem kullanım şeklinde hem de hem de tür olarak değişimlere uğramıştır. Toplum sistemlerinin oluşması, üretim ve tüketim ağının oluşması toprak yönetim sistemlerinin oluşması gibi değişiklikler enerjinin farklı ve çok daha yüksek oranlarına ihtiyaç ile sonuçlanmıştır. 18.yy Sanayi Devrimi önemli gelişmelerden olmuş ve buharlı makinenin icadı ile üretim bandının uzaması, üretilen mal sayısını da artırmıştır. Sayıları gitgide artan fabrikalarda kullanılan enerji fosil kökenli kaynaklardan sağlanmıştır. Böylece fosil kökenli kaynak kullanımı kömürün yanında, petrolün kullanılması ile de oldukça ciddi seviyelere gelmiştir. Artan enerji ihtiyacı ile özellikle gelişmiş ülkeler kaynak yönetimini ele geçirmek istemişlerdir.

Ülkelerin yatırımlarını enerjiye göre yönlendirmesi, bir enerji bağımlılığı sorununu da ortaya çıkarmıştır. Nitekim uzun yıllar üzerine fikir sahibi olunmayan fosil kökenli kaynakların rezervlerinin aynı yy. da gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar sonucunda 200 yıldan daha az olarak bulunmuştur. Araştırmalar fosil kökenli kaynakların kullanımı sonucunda havaya ve doğaya salınan gazlar ile atıkların canlı dokusu ve ekosistem hayatini etkileyip sera gazına sebep olduğunu ortaya koymuştur. Küresel ısınma olarak bilinen sera gazı etkisi atmosferde meydana getirdiği değişiklik ile sıcaklığın artmasına ve dünyanın nefes almasına engel olmaktadır. Bu gibi değişimler ekonomik temellerini fosil kökenli enerjiye göre ayarlayan özellikle gelişmiş devletler için ciddi sonuçlar getirmiş ve bu doğrultu da enerji ihtiyacının karşılanması adına yeni adımlar atılmaya başlanmıştır. Birleşmiş Milletler öncülüğünde toplanan dünya, fosil kökenli kaynak kullanımını kademeli olarak azaltma ve alternatif olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması gibi kararlar almıştır. Sürdürülebilir kentler ve akıllı kentler alınan kararlar doğrultusunda geliştirilmeye başlanan kavramlar olmuş, çevre dostu ve geri dönüşümün etkin kılındığı yapılaşmış alanların oluşturulması amacıyla şekillenmişlerdir. Bu yerleşim hareketleri beraberinde kent içi akıllı ve çevre dostu bileşenlerin kullanımını getirmiş

ve özellikle yenilenebilir enerjinin etkin kılınması adına büyük ilerlemeler sağlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi teknolojik gelişmeler ışığında kent ölçeğinde uygulama şansı yakalamış ve 21.yy. ile yüksek oranda laboratuvar çalışmalarına sahip olmuştur. Bu bağlamda geliştirilen panel sistemleri güneş enerjisinin etkin kılınması adına önemli ürünlerdir. Günümüzde Fotovoltaik (PV) Panel olarak adlandırılan sistemler güneş enerjisinden maksimum fayda sağlamak üzerine geliştirilmeye devam edilmektedir.

Türkiye coğrafi konumu itibariyle rüzgar, jeotermal ve güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olan ülkeler arasındadır. Öte yandan sahip olduğu potansiyellerin küresel ölçekte yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili alınan kararlar ile farkına varılması ve kullanılması adına atılan adımlar da büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda 1994 yılında kabul edilip uygulama aşamasına geçilen İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi Türkiye'nin de imzasının olduğu ve alternatif temiz enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılan küresel ölçekli bir anlaşma olmuştur (Ağaçbiçer, 2010).

Alternatif enerji kaynaklarından olan solar potansiyelin değerlendirilmesi, enerjinin sürekliliğinin sağlanması ve ekosistem dostu bir çevre sağlamak için önemlidir. Bu bağlamda artan enerji ihtiyacının karşılanması, enerjide sürekliliğin sağlanması, barındırılan enerji potansiyellerinin etkin bir biçimde kullanılması, yeni gelişen alternatif enerji sektöründe önemli pozisyona gelmesi, sürdürülebilir, çevre dostu yaşam alanlarının oluşturulması, solar PV teknolojisi ile yaşam alanlarının enerji ihtiyacının karşılanması kapsamında bir test uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Solar PV panel sistemlerinin ticari fonksiyonlu yapıda kullanılmasına yönelik yapılan web uygulamaları tabanlı çalışmalar ve öneriler şu şekilde incelenebilir. Çalışma kapsamında öncelikle test uygulaması yapılan alan fiziksel çevre kontrolü açısından değerlendirilmeye alınmış ve buna yönelik öneriler ele alınmıştır, bir diğer inceleme yaklaşımı ise solar radyasyon potansiyelinin kullanılması amacıyla PV panel sistemleri uygulaması ve buna yönelik önerilerdir.

a) Uygulama alanının fiziksel çevre kontrolü ve Güneş ışınlarını alma açılarına yönelik web uygulamaları ile yapılan çalışmalar ve öneriler

Test uygulama alanının yerleşime uygunluğu ve güneş ışınlarının yapı düzlemine düştüğü açı değerlerine yönelik çalışma yapılmıştır:

- Test uygulaması yapılarak yapının bulunduğu alanın bakı, yükselti ve eğim analizleri yapılarak yerleşime uygunluk açısından incelenmiştir,
- Solar potansiyelin değerlendirilmesine yönelik, test uygulaması yapılacak yapının web tabanlı uygulamalar ile güneş ışınlarını alma açıları hesaplanmıştır,
- Güneş ışınlarının geliş açısına ve güneşin geldiği yöne göre yerleşimin uygunluğu değerlendirilmiştir,
- Web uygulamaları Andrew Marsh ve CM SAF PVGIS ile test uygulaması yapılan alanın solar radyasyon miktarları hesaplanmıştır. PV panel sisteminin uygulandığı alanda solar radyasyon miktarlarının yaz aylarında daha yoğun bir üretime sahip olduğuna ve yaz aylarından güneşten en yüksek fayda ile faydalanabileceği sonucuna varılmıştır.

Test uygulama alanında yapılacak çalışmalar solar PV panel sistemlerinin yapıya kurulumunu rasyonel açıdan değerlendirip, ayrıca kurulan sistem ile yapıya sağlanabilecek enerji potansiyelinin değerlendirilmesini sağlamıştır. Alanda yapılan yerleşime uygunluk, çevre dostu olan temiz enerji sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması ve uygulama alanının bu açıdan uygunluğunun değerlendirilmesine yönelik bir çalışma olmuştur. Öte yandan yapılan bu çalışma yenilenebilir enerji kullanımı için ofis kullanımlı bina için örnek teşkil edip, solar PV panel sistemlerinin kullanımına yönelik yardımcı bir çalışma olmaktadır.

b) Solar PV panel eğim açılarının ve PV enerji üretim miktarının web uygulamaları ile hesaplanması ve buna yönelik değerlendirmeler öneriler

PV panel sistemlerinin kullanımı ile test yapısına yerleştirilen panellerin eğim açısına, solar panellerin elde edebileceği solar radyasyon miktarlarına ve bu solar radyasyon değerleri ile elde edilebilecek enerji miktarlarına ulaşmak için web uygulama araçları ile çalışmalar yapılmıştır:

- Öncelikle Andrew Marsh web uygulaması aracılığıyla elde edilen güneş ışınları geliş açısı kullanılıp, sistemde çatıya yerleştirilen panellerin hangi açılara sahip olacağı hesaplanmıştır.

- Solar PV panel sistemlerinin BIPV sistemi ile yapı elemanı olarak uygulanması ile elde edilecek solar radyasyon miktarlarına CM SAF PVGIS web uygulaması aracılığıyla ulaşılmıştır.
- Kurulu sistemdeki paneller ile varılan güç miktarı ile yıllık üretilebilecek toplam enerji miktarı CM SAF PVGIS web uygulaması hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamından test uygulaması yapılan alanda solar radyasyon potansiyeli PV panel sistemleri ile değerlendirilmek istenmiş ve bu değerlendirmenin açık kaynak olarak sunulan web uygulamaları aracılığıyla yapılması amaçlanmıştır. Yapılan uygulamalar sonucunda test uygulama alanında tasarlanan solar PV panel sistemi ile paneller aracılığıyla üretilen enerji miktarına ulaşılmıştır.

PV panel sistemlerinin yapı elemanı olarak uygulanması panellerin yerleşimi için yapıda ekstra bir alana ihtiyacı gidermektedir. Öte yandan görsel açıdan çeşitlilik sağlayabilecek olan bu sistem yapı tasarım maliyetlerinin azaltılması açısından da önemlidir.

AR-GE faaliyetlerinin dikkate alınması, desteklenmesi bağlamında ise PV panel sistemlerinin halen gelişmekte olan bir alan olması bu sektörü bakir bir alan haline getirmekte ve büyük bir boşluğun da habercisi konumundadır. PV panel sistemleri ile ilgili AR-GE çalışmalarının mevcudiyeti giderek yükselen bir ivmeye sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin sahip olduğu yüksek solar potansiyel bu açıdan bakıldığında oldukça önemlidir.

Panel sistemlerinin kurulumunda kullanılacak web tabanlı tasarım uygulamalarının yerel veriler ile üretilmesi, Web uygulamaları tabanlı yöntem, PV panel sisteminin hesaplamalarında internet aracılığıyla herhangi bir tarayıcı ile her zaman ulaşılabilir olması, platform bağımsız olup bulut bilişim tabanlı oldukları için spesifik bir donanım gerektirmeden ister arazide akıllı bir cep telefonu ile ister ofiste yüksek performanslı bir bilgisayarda kullanılması ile aynı sonucu üretmesi, ücretsiz olması, her alan için hesaplama yapılabilir olması, masaüstü uygulamaları gibi güncelleme yapmaya gerek olmadan kullanılabilir olması açısından önem arz etmektedir.

c) Ofis kullanımlı test uygulama yapısı için uygulaması gerçekleştirilen solar PV panel sistemleri ile üretilen yıllık enerji miktarı ile yapının yıllık enerji ihtiyacının ne oranda karşılandığı ve buna yönelik değerlendirmeler ve öneriler

Çalışma kapsamında test yapısında kurulumu amaçlanan solar PV panel sistemi çatı ve güney bakılı cepheye yerleştirilip yapının modellemesi gerçekleştirilmiştir. Uygulama aşamasında izlenen adımlar, ulaşılan sonuçlar ve buna yönelik öneriler şu şekildedir:

- Ofis kullanımlı test yapısının yıllık enerji ihtiyacının 484000 kWh/yıl olduğu bilgisine varılmıştır.
- Test uygulaması kapsamında yerleşimi gerçekleştirilen 580 adet çatı tipi panelin ve 860 adet cephe tipi panelin CM SAF PVGIS web uygulaması ile üretebildikleri enerji miktarları hesaplanmıştır. Çatı tipi Kristal Silikon panelleri ile 213000 kWh/yıl enerji üretimi yapılabilirken, cephe tipi Thin-Film panelleri ile 144000 kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirmiştir. Toplamda ofis kullanımlı yapıda yıllık 357000 kWh/yıl enerji üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

PV panel sisteminin uygulandığı alanda solar radyasyon miktarlarının yaz aylarında daha yoğun bir üretime sahip olduğuna ve yaz aylarından güneşten en yüksek fayda ile faydalanabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca test uygulama yapısında çatı tipi tasarlanan PV panel sisteminde kullanılan Kristal Silikon PV panellerinin yıl toplamında 213000 kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirdiğine ve test uygulama yapısında cephe sistemlerinde kullanılan Thin-Film PV panellerinin ise yıl toplamında 144000 kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirerek toplamda yapıda kurulu sistemde 357000 kWh/yıl enerji elde edilmiştir.

Test uygulaması gerçekleştirilen yapı ticari fonksiyonlu bir yapı olup yıllık enerji ihtiyacının 484000 kWh/yıl olduğu ve kurulan PV panel sistemleri ile bu ihtiyacın %73'ünün karşılanabileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar solar potansiyelin değerlendirilmesi adına önemli bir örnek olup bu konu üzerinde durulması gerektiğini göstermiştir.

Sonuç olarak, Türkiye Coğrafi konumundan ötürü barındırdığı yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini etkin bir şekilde kullanma imkanına sahiptir. Özellikle güneş enerjisinin yapılarda kullanımı ile ilgili Güneş Panel sistemlerinin uygulama kolaylığı ve verimliliği için binaların mimari açıdan uygun formlarının kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda güneş yüzeyinin artması için yatay mimari teşvik edilebilir. Ayrıca Güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesini sağlayan paneller,

enerji arzının devamlılığı için Şebeke sistemlerine bağlı PV panel sistemleri olarak tercih edilebilir. Bu çalışmaların gerçekleştirilmesi için interaktif uygulamaları ve yardımcı veriler büyük önem taşımaktadır. Uygulamaların, hesaplamalar için gereken veri grupları ve solar radyasyon potansiyelinden maksimum fayda sağlaması için geliştirilmesi ve yaygınlaŐtırılması gerekmektedir. Çevrenin sürdürülebilir yönetiminin sağlanması, canlıların yaşanabilir ortamlara sahip olması ve iklim deđiŐikliđinin sebep olduğu problemlerin etkilerinin azaltılması için gelişmiş teknolojiler ve doğal kaynakların sağlıklı entegrasyonunun kullanımı ve geliştirilmesi yaygınlaŐtırılmalıdır.



## KAYNAKLAR

- Ağaçbiçer, G.** (2010). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine katkısı ve yapılan swot analizler* (Yüksek Lisans tezi). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden alındı
- Bagher, A. M., Vahid, M. M., & Mohsen, M.** (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94-113. doi: 10.11648/j.ajop.20150305.17
- İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı.** (2017). Akıllı Şehirler. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*(77), 6-19.
- Karadağ, T.** (2013). *An Evaluation of the Smart City Approach* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden alındı
- Kayal, S.** (2009). *Application of PV Panels in Large Multi-Story Buildings* (Yüksek Lisans Tezi). doi:<https://doi.org/10.15368/theses.2009.86>
- Kunt, S.** (2008). *Türkiye'nin 2008-2023 Yılları Arasındaki Enerji Gereksinimini Karşılama için Üç Farklı Senaryo* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden alındı
- Lale, Z.** (2016). *Sürdürülebilir Kalkınma Temeline Dayalı Yaşanabilir Çevre Oluşturulması: Eskişehir Tepebaşı İlçesi Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden alındı
- Mezenes, A., Cripps, A., Wright, J., & Bouchlaghem, D.** (2014). Energy and Buildings. *Elsevier*, 75, 199-209. doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.011
- Özek, E.** (2009). *Peyzaj mimarisi uygulamalarında Güneş enerjisinin kullanımının değerlendirmesine yönelik bir araştırma ve Yalova Termal yolu aydınlatması* (Yüksek Lisans Tezi). <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/3696/1/10024.pdf> adresinden alındı
- Salam, Z., Ramli, Z., Ahmed, J., & Amjad, M.** (2015). Partial Shading in Building Integrated PV System: Causes, Effects and Mitigating Techniques. *Power Electronics and Drive System*, 6(4), 712-722. <http://iaesjournal.com/online/index.php/IJPEDS> adresinden alındı
- Sınmaz, S.** (2013). Yeni Gelişen Planlama Yaklaşımları Çerçevesinde Akıllı Yerleşme Kavramı ve Temel İlkeleri. *Megaron*, 8(2), 76-86. doi:10.5505/MEGARON.2013.35220
- Şanlı, İ. D., & Armağan, R.** (2017). Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifinden Yenilenebilir Enerji: Kamu Politikalarının Gerekliliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 8(19), 93-109. doi:10.21076/vizyoner.336532

- Tunçsiper, B., & Fırat, E.** (2017). Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifinde Uygulanan Yenilenebilir Enerji Kaynakları. (s. 318-324). *Balıkesir Üniversitesi*. <https://www.avekon.org/papers/1927.pdf> adresinden alındı
- Ulusoy, M.** (2017). *Akıllı Şehirler* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden alındı
- Weng, T., & Agarhal, Y.** (2012). From Buildings To Smart Buildings- Sensing And Actuation To Improve Energy Efficiency,. *IEEE Design & Test of Computers*, 29(4), 36-44. doi:10.1109/MDT.2012.2211855
- Yavuz, A.** (2010). Sürdürülebilirlik Kavramı Ve İşletmeler Açısından Sürdürülebilir Üretim Stratejileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(14), 63-86. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/183283> adresinden alındı
- Yerli, B.** (2011). *İstanbul İklim Şartlarında Meteorolojik Parametrelerin PV (Fotovoltaik Pil) Elektrik Üretimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden alındı
- Yeşilmeden, H. M.** (2017). *Kentsel alanlarda fotovoltaik panel kurulumu için en uygun konumların belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> adresinden alındı
- Url-1** <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>>, erişim tarihi 24.11.2018
- Url-2** <[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final\\_.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf)>, erişim tarihi 20.11.2018.
- Url-3** <<http://andrewmarsh.com/>>, erişim tarihi 18.12.2018.
- Url-4** <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>, erişim tarihi 11.12.2018.
- Url-5** <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>, erişim tarihi 10.10.2018.
- Url-6** <<https://www.nap.edu/read/13152/chapter/1>>, erişim tarihi 09.10.2018.
- Url-7** <<https://www.nap.edu/>>, erişim tarihi 19.11.2018.
- Url-8** <<https://www.footprintnetwork.org/>>, erişim tarihi 13.10.2018.
- Url-9** <<http://www.un-documents.net/aconf48-14r1.pdf>>, erişim tarihi 11.10.2018.
- Url-10** <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/WCS-004.pdf>>, erişim tarihi 07.10.2018.
- Url-11** <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>>, erişim tarihi 25.10.2018.
- Url-12** <<http://ec.europa.eu/environment/archives/action-programme/env-act5/pdf/5eap.pdf>>, erişim tarihi 21.10.2018.
- Url-13** <<http://habitat3.org/wp-content/uploads/Habitat-II-NR-1996-INDIA-1.pdf>>, erişim tarihi 26.10.2018.
- Url-14** <<http://dergipark.gov.tr/download/article-file/9155>>, erişim tarihi 02.11.2018.
- Url-15** <<https://earthsummit2002.org/>>, erişim tarihi 18.10.2018.



- Url-16** <[https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216l-1\\_english.pdf.pdf](https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216l-1_english.pdf.pdf)>, erişim tarihi 29.10.2018.
- Url-17** <<http://g20.org.tr/wp-content/uploads/2015/11/T-20-Program1.pdf>>, erişim tarihi 27.10.2018.
- Url-18** <<https://cbs.csb.gov.tr/>>, erişim tarihi 01.01.2019.
- Url-19** <<http://iklim.tarim.gov.tr/dosya/idep.pdf>>, erişim tarihi 12.12.2018.
- Url-20** <<https://www.nrel.gov/docs/fy00osti/25272.pdf>>, erişim tarihi 25.09.2018.
- Url-21**  
<[http://www.energybc.ca/cache/solarpv/www.cetonline.org/Renewables/PV\\_pro\\_con.html](http://www.energybc.ca/cache/solarpv/www.cetonline.org/Renewables/PV_pro_con.html)>, erişim tarihi 14.11.2018.
- Url-22**<<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/tools/a-quick-tour-of-geoprocessing-tool-references.htm>>, erişim tarihi 21.11.2018.
- Url-23** <<http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>>, erişim tarihi 10.01.2019..
- Url-24** <<https://drajmarsh.bitbucket.io/earthsun.html>>, erişim tarihi 10.01.2019.
- Url-25** <<https://drajmarsh.bitbucket.io/shadows3d.html>>, erişim tarihi 10.01.2019.
- Url-26** <<https://drajmarsh.bitbucket.io/weather-data.html>>, erişim tarihi 10.01.2019.
- Url-27** <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>, erişim tarihi 11.01.2019.
- Url-28** <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>, erişim tarihi 11.01.2019.
- Url-29** <<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>>, erişim tarihi 22.11.2018.
- Url-30** <<http://www.bosch-solarenergy.com/en/customer-service/product/kundendienst-4.html>>, erişim tarihi 23.12.2018.



## **EKLER**

**EK A** :Sonuçlar.

**EK B** : CM SAF PVGIS web uygulaması solar radyasyon hesaplama sonuçları.

**EK C** : Kristal silikon panel özellikleri.



## EK A

Çizelge A.1 : Yıllara göre ülkelerin petrol üretim değerleri.

MTEP	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>ABD</b>	305,1	302,3	322,4	332,7	344,8	393,8	447,0	522,5	565,3	543,1	571,0
<b>Kanada</b>	155,3	152,9	152,8	160,3	169,8	182,6	195,1	209,4	215,6	218,6	236,3
<b>Çin</b>	186,3	190,4	189,5	203,0	202,9	207,5	210,0	211,4	214,6	199,7	191,5
<b>Suudi Arabistan</b>	488,9	509,9	456,7	473,8	525,9	549,8	538,4	543,4	567,9	586,6	561,7
<b>Rusya</b>	497,5	494,4	501,5	512,5	519,6	526,9	532,3	535,1	541,9	555,9	554,4
<b>Venezuela</b>	165,7	165,8	155,9	145,8	141,5	139,3	137,8	138,5	135,4	123,1	108,3
<b>İran</b>	213,3	215,6	207,4	212,3	213,0	180,7	169,9	174,3	180,5	216,8	234,2
<b>Birleşik Arap E.</b>	143,6	145,2	128,8	134,2	149,8	156,5	161,8	163,2	175,0	181,6	176,3
<b>Irak</b>	105,1	119,3	119,7	120,8	135,8	151,3	152,0	158,8	195,6	217,6	221,5
<b>Kuveyt</b>	129,9	136,1	120,9	123,3	140,8	153,9	151,3	150,1	148,1	152,6	146,0
<b>OECD</b>	889,4	857,9	853,8	856,8	856,6	902,4	953,4	1041,3	1085,6	1060,1	1090,3
<b>Non-OECD</b>	3064,9	3141,1	3038,8	3124,6	3152,9	3218,4	3171,9	3181,8	3269,6	3317,0	3296,8
<b>AB</b>	114,1	106,6	100,0	93,6	81,3	72,7	68,1	67,0	71,5	70,6	69,2
<b>Dünya Toplam</b>	3954,2	3999,0	3892,6	3981,4	4009,5	4120,8	4125,3	4223,0	4355,2	4377,1	4387,1

**Çizelge A.2 : Yıllara göre ülkelerin petrol tüketim değerleri.**

<b>MTEP</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>ABD</b>	967,6	912,8	871,2	889,8	874,7	856,4	872,8	879,4	898,3	907,6	913,3
<b>Kanada</b>	106,0	104,8	98,6	105,3	108,5	106,4	107,7	108,2	105,0	107,0	108,6
<b>Türkiye</b>	33,5	33,1	33,6	32,8	32,1	33,8	36,5	37,4	44,2	47,1	48,8
<b>Çin</b>	377,7	385,5	400,0	455,2	472,1	494,9	516,8	538,1	573,5	587,2	608,4
<b>Suudi Arabistan</b>	108,2	118,6	130,2	141,3	144,4	151,9	152,2	166,8	173,2	173,8	172,4
<b>Rusya</b>	134,0	138,1	132,5	137,9	147,0	149,6	149,5	157,5	149,9	152,5	153,0
<b>Hindistan</b>	140,9	147,8	155,4	159,0	166,8	176,7	177,9	183,0	197,8	217,1	222,1
<b>Almanya</b>	117,2	123,7	118,7	120,3	116,6	116,2	118,3	115,3	115,0	117,3	119,8
<b>Japonya</b>	239,3	232,4	208,2	210,5	211,0	224,9	214,7	204,0	196,5	191,4	188,3
<b>OECD</b>	2366,8	2296,1	2184,7	2207,4	2181,9	2160,0	2150,0	2128,2	2157,8	2190,6	2206,8
<b>Non-OECD</b>	1801,0	1852,7	1892,9	2001,5	2070,5	2144,9	2209,2	2266,4	2318,0	2366,7	2415,1
<b>AB</b>	732,5	728,9	690,4	685,6	665,4	639,4	622,7	612,3	622,3	635,5	645,4
<b>Dünya Toplam</b>	4167,8	4148,8	4077,6	4208,9	4252,4	4304,9	4359,3	4394,7	4475,8	4557,3	4621,9

**Çizelge A.3 : Yıllara göre ülkelerin doğalgaz üretimi değerleri.**

<b>MTEP</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>ABD</b>	448,7	469,5	479,4	494,5	530,8	558,1	563,8	606,0	636,5	627,1	631,6
<b>Kanada</b>	150,2	143,2	133,3	128,6	129,9	129,2	130,6	136,8	138,4	147,6	151,6
<b>Norveç</b>	77,1	86,4	89,1	91,5	86,4	97,9	92,8	92,9	99,9	99,6	106,0
<b>Çin</b>	60,0	69,6	73,9	83,0	91,3	95,9	104,7	112,8	116,7	118,6	128,3
<b>Katar</b>	56,2	68,5	79,5	106,5	129,3	139,8	144,2	145,4	150,7	152,2	151,1
<b>Rusya</b>	517,3	525,8	461,0	514,5	530,4	517,5	528,4	508,3	502,5	506,7	546,5
<b>İran</b>	105,8	110,8	121,7	129,0	135,4	140,7	141,3	157,4	164,6	174,7	192,5
<b>OECD</b>	922,3	946,2	941,6	963,2	979,9	1010,8	1018,2	1059,6	1090,0	1106,3	1129,5
<b>Non-OECD</b>	1606,8	1672,4	1597,3	1761,9	1831,0	1858,7	1884,8	1904,2	1933,2	1946,0	2035,1
<b>AB</b>	169,3	170,6	153,9	156,5	138,6	130,3	129,3	118,3	107,0	104,8	101,3
<b>Dünya Toplam</b>	2529,1	2618,6	2538,9	2725,1	2810,8	2869,4	2903,0	2963,8	3026,2	3052,3	3164,6

**Çizelge A.4 : Yıllara göre ülkelerin doğalgaz üretimi değerleri.**

<b>MTEP</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>ABD</b>	536,7	540,7	531,1	557,3	566,0	591,7	607,9	621,0	639,4	645,1	635,8
<b>Kanada</b>	78,2	76,8	74,4	76,3	82,2	79,8	84,3	88,8	88,5	94,1	99,5
<b>Türkiye</b>	29,1	30,4	29,0	30,8	36,0	37,2	37,8	40,1	39,5	38,2	44,4
<b>Çin</b>	61,1	70,4	77,6	93,6	116,2	129,7	147,8	162,0	167,4	180,1	206,1
<b>Japonya</b>	81,2	84,4	78,7	85,1	95,0	105,3	105,2	103,6	102,1	100,1	100,7
<b>Rusya</b>	368,7	363,5	343,5	363,4	374,5	369,4	363,8	364,2	352,2	361,3	365,2
<b>İran</b>	106,3	112,8	120,9	129,5	137,4	136,8	137,9	155,6	165,0	173,1	184,4
<b>OECD</b>	1259,9	1279,7	1239,3	1323,2	1315,7	1344,9	1373,3	1349,2	1377,0	1427,3	1442,5
<b>Non-OECD</b>	1283,6	1327,4	1295,3	1407,6	1471,1	1515,9	1525,7	1573,2	1610,3	1645,9	1713,5
<b>AB</b>	434,6	444,4	416,4	447,9	404,4	393,7	387,5	344,7	359,1	385,9	401,4
<b>Dünya Toplam</b>	2543,4	2607,2	2534,6	2730,8	2786,8	2860,8	2899,0	2922,3	2987,3	3073,2	3156,0

## EK B

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 40°59'33" North, 29°4'7" East, Elevation: 25 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 145.0 kW (crystalline silicon)  
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 14.2% (using local ambient temperature)  
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%  
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
Combined PV system losses: 28.2%

Fixed system: inclination=31°, orientation=-1°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	255.00	7920	2.32	71.8
Feb	341.00	9550	3.07	86.1
Mar	512.00	15900	4.70	146
Apr	586.00	17600	5.55	166
May	688.00	21300	6.67	207
Jun	709.00	21300	7.06	212
Jul	742.00	23000	7.42	230
Aug	696.00	21600	7.07	219
Sep	587.00	17600	5.86	176
Oct	452.00	14000	4.31	134
Nov	342.00	10300	3.16	94.8
Dec	237.00	7350	2.12	65.8
<b>Yearly average</b>	<b>513</b>	<b>15600</b>	<b>4.95</b>	<b>151</b>
<b>Total for year</b>		<b>187000</b>		<b>1810</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

$H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

PVGIS © European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged

See the disclaimer [here](#)

**Şekil B.1** : Güneş enerjisi kristal silikon panel enerji üretim sonuçları.



## Incident global irradiation for the chosen location

Location: 40°59'33" North, 29°4'7" East, Elevation: 25 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 31 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	H(90)	DNI	lopt	T24h	NDD
Jan	1570	2320	2270	1800	59	7.2	377
Feb	2300	3070	2680	2260	52	7.2	320
Mar	3870	4700	3480	3520	42	8.7	282
Apr	5090	5550	3210	4640	28	12.3	106
May	6690	6670	2940	6420	16	17.3	10
Jun	7440	7060	2590	7550	8	21.6	1
Jul	7600	7420	2870	7940	12	24.5	0
Aug	6660	7070	3540	7380	23	25.2	1
Sep	4880	5860	4000	5420	38	22.0	13
Oct	3190	4310	3670	3640	51	16.7	116
Nov	2070	3160	3120	2690	60	13.4	249
Dec	1390	2120	2160	1680	62	9.1	328
Year	4410	4950	3050	4590	31	15.4	1803

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)

H(90): Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m2/day)

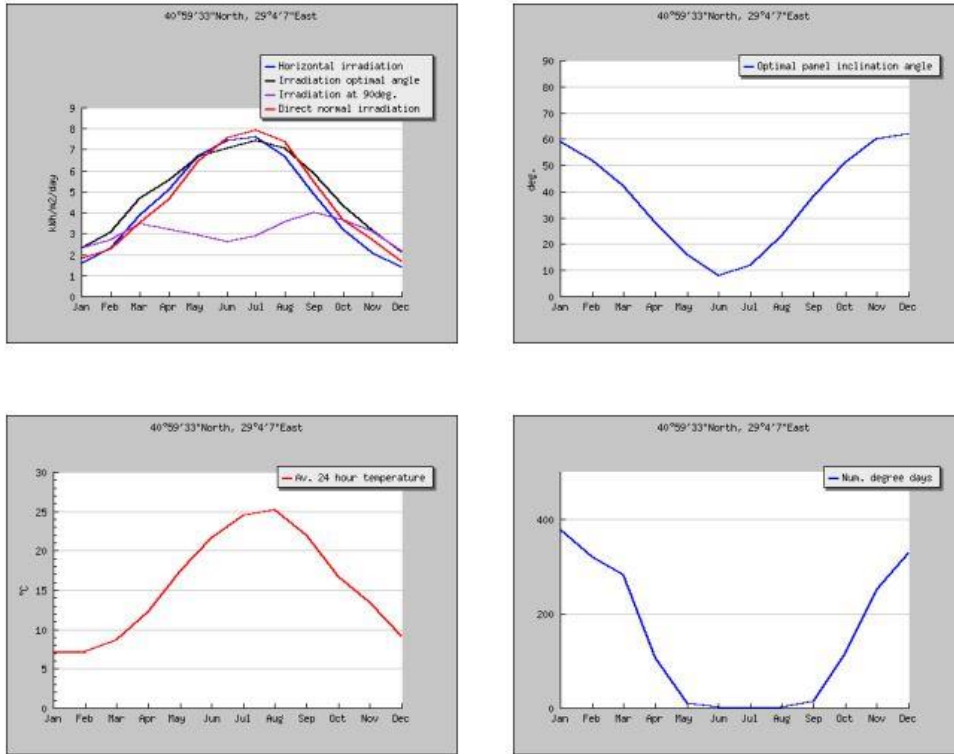
DNI: Direct normal irradiation (Wh/m2/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

T24h: 24 hour average of temperature (°C)

NDD: Number of heating degree-days (-)

Şekil B.2 : Test uygulama alanı küresel radyasyon sonuçları.



**Şekil B.3 :** Test uygulama alanı küresel radyasyon grafikleri.

## Average Daily Solar Irradiance

### PVGIS Estimates of average daily profiles

Location: 40°59'33" North, 29°4'7" East, Elevation: 25 m a.s.l.,

Inclination of plane: 35 deg.

Orientation (azimuth) of plane: 0 deg.

### Radiation estimates

Time	G	Gd	Gc	DNI	DNic
07:37	74	41	146	92	330
07:52	110	60	230	122	434
08:07	140	72	302	146	522
08:22	168	83	373	166	592
08:37	194	92	440	182	648
08:52	219	101	504	194	694
09:07	242	109	564	205	732
09:22	263	115	620	214	763
09:37	283	121	672	221	789
09:52	300	126	720	227	811
10:07	316	131	762	232	830
10:22	329	134	800	237	846
10:37	341	137	833	240	857
10:52	350	140	860	243	868
11:07	358	142	882	245	876
11:22	364	143	899	247	881
11:37	368	144	910	248	886
11:52	370	145	915	248	887
12:07	370	145	915	248	887
12:22	368	144	910	248	886
12:37	364	143	899	247	881
12:52	358	142	882	245	876
13:07	350	140	860	243	868
13:22	341	137	833	240	857
13:37	329	134	800	237	846
13:52	316	131	762	232	830
14:07	300	126	720	227	811
14:22	283	121	672	221	789
14:37	263	115	620	214	763
14:52	242	109	564	205	732
15:07	219	101	504	194	694
15:22	194	92	440	182	648
15:37	168	83	373	166	592
15:52	140	72	302	146	522
16:07	44	44	25	0	0
16:22	34	33	19	0	0
16:37	22	22	13	0	0

G: Global irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

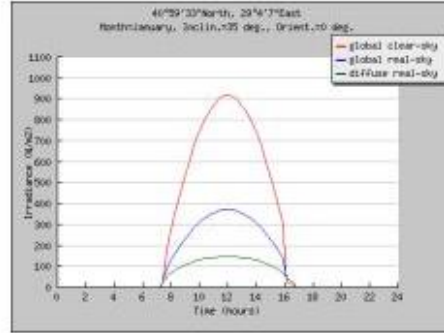
Gd: Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

Gc: Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

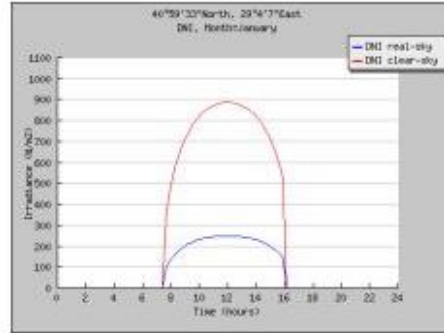
DNI: Direct normal irradiance (W/m<sup>2</sup>)

DNic: Clear-sky direct normal irradiance (W/m<sup>2</sup>)

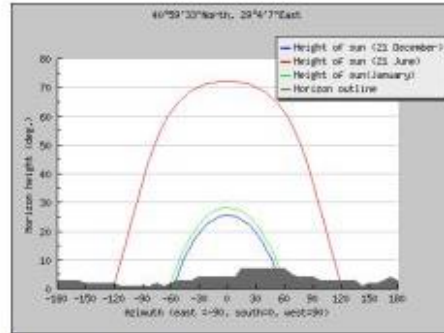
Şekil B.4 : Ortalama günlük solar radyasyon.



Daily irradiance on a fixed plane



Direct normal irradiance



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

**Şekil B.5 :** Günlük radyasyon, direkt normal radyasyon, kış ve yaz solistis izi grafikleri.

## EK C

### Weak light performance:

Intensity [W/m <sup>2</sup> ]	V <sub>mpp</sub> [%]	I <sub>mpp</sub> [%]
800	0.0	-20
600	0.0	-40
400	-0.18	-60
200	-2.36	-80
100	-5.45	-90

The electrical data applies for 25 °C and AM 1.5.

### Thermal characteristics:

Temperature coefficient	TK [%/K]
P <sub>mpp</sub>	-0.44
U <sub>oc</sub>	-0.31
I <sub>sc</sub>	0.031

Length [x]	Width [y]	Frame height [z]	Weight	Junction box	Plug connector type	Cable [l]	Front glass surface
1660.0	990.0	50.0	21	IP65	MC4	-800 +1 200	structured with anti-reflective coating

x, y, l in mm, ±2; z in mm, ±0.3; weight in kg ±0.5

Crystalline solar module	
Performance classes	255 Wp, 260 Wp, 265 Wp, 270 Wp
Performance sorting	-0/+4.99 Wp
Structure	<b>Glass-foil laminate</b> ▶ Anodized aluminum frame ▶ Junction box (IP65) with 3 bypass diodes ▶ Weather-resistant back sheet (white)
Cells	60x monocrystalline solar cells in 156 mm x 156 mm format
Mechanical load	5400 Pa superimposed load, 2400 Pa suction load, in accordance with IEC 61215 (extended test)

### Electrical characteristics for STC<sup>1</sup>:

Designation	P <sub>mpp</sub> [Wp]	V <sub>mpp</sub> [V]	I <sub>mpp</sub> [A]	V <sub>oc</sub> [V]	I <sub>sc</sub> [A]	Reverse-current load capacity [A]
255	255	29.94	8.52	37.29	9.12	25
260	260	30.25	8.60	37.60	9.19	25
265	265	30.55	8.68	37.91	9.26	25
270	270	30.85	8.76	38.22	9.33	25

Reduction in module efficiency with decrease in irradiation level from 1000 W/m<sup>2</sup> to 200 W/m<sup>2</sup> (at 25 °C): -0.32% (absolute)

### Electrical characteristics for NOCT<sup>1</sup>:

Designation	P <sub>mpp</sub> [W]	V <sub>mpp</sub> [V]	V <sub>oc</sub> [V]	I <sub>sc</sub> [A]
255	185	27.52	30.06	7.35
260	189	27.79	30.31	7.40
265	193	28.07	30.56	7.46
270	196	28.35	30.81	7.52

NOCT: Normal Operation Cell Temperature 48.4 °C; Irradiation level 800 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, temperature 20 °C, wind speed 1 m/s, electrical open circuit operation

Şekil C.1 : Kristal silikon panel özellikleri.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Selma URFAN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : Bitlis, 09.01.1990  
**E-posta** : slmrfn@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2016-2017 yılları arasında Belde Planlama Mimarlık İnşaat, Sanayi ve Ticaret Limited. Şirketi'nde ARCGIS analisti olarak çalıştı.
- ArcGis programında konumsal veriler üretilmiş İstanbul İli Çevre Düzeni Planı için sayısallaştırmaları yapılmış, altlıklar oluşturulmuştur.
- İstanbul İli 1/150000 ölçekli analizlerinin görselleştirmeleri yapılmıştır ve İl Çevre Düzeni Planı için veriler üretilmiştir.
- İstanbul İli Çevre Düzeni Planı için kullanılacak olan bütün tablosal sayısal verilerin ArcGis veri tabanına aktarılıp görselleştirilmeleri sağlanmıştır.
- İl Land Use analizi çıkarılmıştır.

