T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ RADYASYONU MODELLEMESİ ve ELEKTRİK SANTRALİ FİZİBİLİTE RAPORU OLUŞTURULMASI

Emrah ASLAN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2016

Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ danışmanlığında Emrah ASLAN'ın hazırladığı **"Güneş Radyasyonu Modellemesi ve Elektrik Santrali Fizibilite Raporu Oluşturulması"** konulu bu çalışma 09.05.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ ..……

Üye : Doç. Dr. M.Tahir GÜLLÜOĞLU ……..

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA ……..

Bu tezin Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No : 14146

Not: Bu Tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5486 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
1.1.Çalışmanın Önemi ve Amacı 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
3. MATERYAL ve YÖNTEM 7
3.1.Güneş ve Güneş Işınımı 7
3.1.1.Güneş 7
3.1.1.1. Güneş Sabiti 8
3.1.1.2. Güneş Işınımı (Radyasyonu) 9
3.1.1.3. Güneş Işınım Geometrisi 11
3.1.1.4. Güneşle İlgili Tanım ve Semboller 12
3.1.1.4.1. Enlem ve Boylam 12
3.1.1.4.2. Deklinasyon Açısı 13
3.1.1.4.3. Saat Açısı 14
3.1.1.4.4. Zenit Açısı ve Yükseklik Açısı 14
3.1.1.4.5. Azimut Açısı 15
3.1.1.4.6. Güneş Zamanı 16
3.1.1.4.7. Gün Doğumu ve Gün Batımı 16
3.1.1.4.8. Yatay Eksende Atmosfer Dışı Radyasyon 18
3.1.1.5. Eğilimli Yüzeylerdeki Güneş Radyasyonu 19
3.1.1.5.1. Eğilimli Yüzeylerdeki Güneş Radyasyonu Hesabı 20
3.1.1.6. Fotovoltaik Panellerin Yerleştirilmesi 21
3.1.1.7. Güneş Enerji Santrali Enerji Üretim Hesapları 23
3.2. Güneş Işınım Modellemesinde Kullanılan Araçlar 24
3.3. Anlık Işınım Şiddeti İçin Kullanılan Matematiksel Model Seçimi 28
3.3.1. Kullanılan Matematiksel Modeller 28
3.3.2.Matematiksel Modellerden Elde Edilen Sonuçlar 31
3.4. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Tabanlı Güneş Işınım Modelleri 33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 36
4.1. Güneşten Elektrik Üretimi 36
4.1.1.Güneş Işınımından Elektrik Enerjisi Üretim Modellemesi 36
4.1.2. Fotovoltaik Teknoloji Çeşitleri 38
4.1.2.1. Kristal Paneller 38
4.1.2.2. İnce Film Paneller 38
4.1.2.3. Esnek Paneller 38
4.1.3. Güneş Enerjisi Sistemi Elemanları 39
4.1.4. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri 40
4.1.4.1. Isıl Teknolojiler 41
4.1.4.2. Fotovoltaik Teknolojiler 42
4.1.4.2.1. Şebeke Bağlantısız (Off-Grid) Sistemler 42
4.1.4.2.2. Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Sistemler 43
4.2. Güneş Enerji Santrali Fizibilite Yazılımları 44
4.3.GES Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü 45
4.3.2.1. Planlama 46
4.3.2.2.Analiz 47
4.3.2.3. Tasarım 49
4.3.2.4. Gerçekleştirme 49
4.3.2.5. Test ve Bakım 50
4.4 Güneş Enerji Santrali Fizibilite Yazılımı Tasarımı 52
4.4.1.Veritabanı Tasarım 52

4.4.2.Ekran Tasarımları 53
4.4.2.1. Programın Açılması 53
4.4.2.2. Yeni Proje Açma 55
4.4.2.3. Konum Belirleme 55
4.4.2.4. Bölgenin Güneş ve Güneşlenme Değerlerini Hesaplama 56
4.4.2.5. Sistem Bileşenlerini Belirleme 57
4.4.2.6.Raporlama ve Kaydetme 58
4.4.2.7. Lisanslama 58
4.5 Maliyet Analizi 59
4.6 Rapor Oluşturma 61
5. SONUÇ ve ÖNERİLER 63
KAYNAKLAR 65
ÖZGEÇMİŞ.....69
EKLER 70
EK-1: Harran Üniversitesi 1 MWp Güneş Enerji Santral Uygulaması 70
EK-2: Matematiksel Modelin GEPA ile Karşılaştırılması 76
EK-3: GES Başvuru Blok Diyagramı 81

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Güneş Radyasyonu Modellemesi ve Elektrik Santrali Fizibilite Raporu Oluşturulması

Emrah ASLAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ
YIL: 2016, Sayfa: 81

Günümüzde hızla artan enerji tüketimi insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Güneş en temel yenilenebilir enerji kaynağıdır. Temelde güneşten ısıl sistemler, fotovoltaik sistemler ve yoğunlaştırılmış güneş sistemleri (CSP) ile enerji üretilmektedir. Bu teknolojilerin çalışma prensipleri birbirinden ayrı olmasına rağmen güneş ışınım değerleri baz alınarak verimlilik ve üretim potansiyeli hesaplanır. Bu nedenle güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında güneş ışınım bilgilerinin doğru bilinmesi önemlidir.

Güneş ışınımı, konum, tarih ve günün saatine ve iklimsel şartlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu değerler anlık, saatlik, günlük olarak meteoroloji istasyonları tarafından ölçüm cihazları ile kaydedilmektedir. Fakat cihazların maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı ölçüm istasyonları her yerde bulunmamaktadır. Belirlenen parametreler kullanılarak güneş ışınımı değerleri hesaplanmaktadır. Güneş ışınım değerlerinin hesaplanması için kullanılan farklı matematiksel modeller bulunmaktadır. Sonuçların doğruluk oranını arttırmak için bölgeye özgü denklem katsayıları belirlenmelidir. Bu katsayıların hesaplanmasında bölgenin uzun süreli gerçek coğrafik ve meteorolojik verileri kullanılmaktadır.

Yapılan bu hesaplamaların doğruluğu bilimsel çalışmalar sonucunda görülmektedir. Güneş ışınımı verileri yenilenebilir enerji alanında güneş enerjisinden faydalanmak isteyen tüm ticari ve akademik çalışmalarda kullanılmaktadır. Bir bölgeye güneş enerjisi santrali kurulacaksa o bölgenin güneş ışınım bilgilerinin bilinmesi gerekir. Bu ışınım bilgileri ile enerji üretim potansiyeli hesaplanabilir.

Bu çalışma kapsamsında geliştirilen yazılım ile seçilen bölgeye ait güneş ışınım değerleri hesaplanmakta ve bu değerlere ait görsel çıktılar sunulmaktadır. Ayrıca GES fizibilite raporu ile tasaım parametreleri, malzemelerin karakteristikleri, saha bilgileri, firma bilgileri, sistem maliyeti, yatırım geri dönüş süresi, sistemin enerji üretimleri ve sistemdeki kayıplar, hesaplanabilmektedir. Bu şekilde, kullanıcı bölgenin güneş ışınım değerlerini analiz ederek, güneş enerjisi kullanımı için uygunluğunu belirleyebilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş Radyasyon Modellemesi, Güneş Pozisyon Belirleme, Veri Görselleştirme, Güneş Enerji Santrali Fizibilitesi

ABSTRACT
MSc Thesis

Solar Radiation Modelling and Power Plant Feasibility Report Creating

Emrah ASLAN

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ
Year: 2016, Pages: 81

In our modern time, rapidly increasing energy consumption has made people look for renewable energy resources. The sun is the most important renewable energy resource. Energy from the sun is harnessed by means of thermal systems, photovoltaic systems and concentrated solar power (CSP) systems. Even though working principles are different among these systems, efficiency and production potential can be calculated based upon the sun radiation values. Due to this reason, it is important to obtain the solar irradiation values correctly for designing the systems.
Solar irradiation varies according to the location, date, time and climatic conditions. These values are recorded momentarily, hourly or daily by meteorology stations using measuring devices. But due to high costs of these measuring devices, these stations are rarely found. Solar irradiation values are computed using determined parameters. There are different mathematical models for calculating the irradiation values. So as to increase the accuracy rate of the results, model coefficients should be determined for each region. These coefficients are calculated by using the long-term real geographical and meteorological data of the interested region.
Solar irradiation data can be used in all commercial and scientific areas interested in benefitting from solar energy. If a Solar Power Plant(SPP) is to be built, the solar irradiation data of the considered region has to be known. With the help of this irradiation information, energy production potential can be calculated.
By using the software developed in this study, solar irradiation values of a chosen region can be computed and the visual output of these values can be obtained. Moreover, design parameters, equipment characteristics, field information, system cost, investment payback time, potential energy production and system losses can be given in SPP feasibility report by the software. Therefore, the solar irradiation values related to a certain region can be analyzed and suitability of Solar Power Plant can be determined.

KEY WORDS: Solar Irradiant Modelling, Sun Position Algorithm, Data Visualization, Solar Energy Plant Feasibility

TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimini hiçbir zaman bizden esirgemeyen **Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ** hocama, tezimi hazırlarken destekleriyle bana yardımcı olan **GAP YENEV** çalışanlarına, her zaman yanımda olan **Ali BİÇER'e**, yüreğimde büyüttüğüm tüm dostlarıma ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Güneş Radyasyonu Türleri. a) Direk Radyasyon b)Difuz Radyasyon c)Yansıtılan Radyasyon 10
Şekil 3.2. Dünyanın Güneş Etrafındaki Dönüşü 11
Şekil 3.3. Enlem ve Boylam 12
Şekil 3.4. Deklinasyon Açısı 13
Şekil 3.5. Zenit ve yükseklik açısı 15
Şekil 3.6.Güneş Azimut Açısı 16
Şekil 3.7.Panellerin yerleştirilmesi 22
Şekil 3.8. Pyranometre 24
Şekil 3.9. Pyrheliometer 25
Şekil 3.10. Tracker 25
Şekil 3.11. Anemometre 26
Şekil 3.12. Higrograf 26
Şekil 3.13. Plüviyometre 27
Şekil 3.14. Helyograf 27
Şekil 3.15. Termometre 27
Şekil 3.16. Barometre 28
Şekil 3.17. İstanbul İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması 31
Şekil 3.18. Konya İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması 32
Şekil 3.19. Şanlıurfa İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması 32
Şekil 3.20. NASA Meteonorm ekran görüntüsü 34
Şekil 3.21. GRASS R.sun ekran görüntüsü 34
Şekil 3.22. ESRI Solar Analyst ekran görüntüsü 35
Şekil 3.23. E.S.R.A ve Saatlik Radyasyon Tahmini ekran görüntüsü 35
Şekil 4.1. Güneş Pili Çalışma İlkesi 36
Şekil 4.2. PV hücrenin standart bir diyotlu eşdeğer devre modeli 37
Şekil 4.3. a)Fotovoltaik Panel b) İnverter (Evirici) c) Akü d) Şarj Regülatörü e)Kablo 39
Şekil 4.4. a)Parabolik Açılı b)Güneş Kuleleri c)Parabolik Çanaklar d)Yere Döşenmiş Aynalar 41
Şekil 4.5. Şebeke bağlantısız (Off-Grid) sistemler 43
Şekil 4.6. Şebeke bağlantılı (On-Grid) sistemler 43
Şekil 4.7. Yazılım Yaşam Döngüsü 45
Şekil 4.8. Güneş Enerjisi Fizibilite Yazılımı Akış Diyagramı 52
Şekil 4.9. Programın açılış ekranı 54
Şekil 4.10. Programın ana menü ekranı 54
Şekil 4.11. Yeni proje açma ekranı 55
Şekil 4.12. Google Maps ile proje konumu belirleme ekranı 56
Şekil 4.13. İnternet bağlantısı olmadığı zaman manuel proje konumu belirleme ekranı 56
Şekil 4.14. Proje alanına ait güneş ve güneş değerlerini hesaplama ekranı 57
Şekil 4.15. Sisteme ait bileşenlerin seçilme ekranı 57
Şekil 4.16. Raporlama ve kaydetme ekranı 58
Şekil 4.17. Programı lisanslama ekran 59

ÇİZELGELER TABLOSU

Çizelge 3.1. 1 Ocaktan itibaren gün sayısını hesaplama. 8
Çizelge 3.2. Aylık Ortalama Deklinasyon Açısını Veren Günler 14
Çizelge 3.3. Aylık Ortalama Günlük Dünya Dışı Radyasyonunu Veren Günler 19
Çizelge 3.4. Farklı yüzeylerin yansıtma katsayıları 20

SİMGELER DİZİNİ

Gsco	:Güneş sabiti
f	:Düzeltme faktörü
n	:1 Ocak'tan itibaren gün sayısı
φ	:Enlem
δ	:Deklinasyon açısı
ω	:Saat açısı
ts	:Günün saati
θ_z	:Zenit açısı
α_s	: Yükseklik açısı
γs	:Güneş azimut açısı
γ	:Yüzey azimut açısı
ω¹	:Güneşlenme zamanı
YS	:Yerel saat
GOZ	: Greenwich ortalama zamanı
E	: Dünya yörüngesindeki düzensizlik düzeltme faktörü
SS	: Standart saat
I_0	:Atmosfer dışında yatay yüzeye gelen güneş ışınım
H	:Aylık ortalama güneş radyasyonu
H_T	:Yatay bir yüzeye eğik gelen ışınım
H_O	:Aylık ortalama atmosfer dışı ışınım
n	:Aylık ortalama güneşlenme süresi
N	:Aylık ortalama gün uzunluğu
a ve b	:Sabitler
H/H_O (K_T)	:Bulutluluk indeksi
R	:Eğimli yüzeye gelen toplam güneş radyasyonu
β	:Panel eğimi
ρ	:Yansıtma oranı
W	:Panel genişliği
L	:Panel uzunluğu
D	:İki panel arasındaki mesafe
N	:Gerekli panel sayısı
A	:Alan
E_T	:Santralde üretilen toplam enerji
H_O	:Birim yüzeye gelen güneş radyasyon miktarı
n_e	:Efektif sistem verimi
A_H	:Paneldeki hücre alanı
l_1	:hücre boyu
l_2	:hücre eni
np	:Panel hücre verimliliği,
n_{DC}	:DC kablo verimliliği,
$n_İ$	:İnverter verimliliği,
n_{AC}	:AC kablo verimliliği,
n_{TR}	:Trafo verimliliği,
n_{OG}	:Trafo kabini ile bağlantı noktası arasındaki OG kablo verimi
I_{PH}	:Güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımı
I_D	:Diyot akımı
R_P	:Paralel direnç
R_S	:Seri direnç
I_P	:Paralel direnç akımı
YGDS	:Yatırım geri dönüş süresi

1.GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Hızla artan dünya nüfusu ve teknolojide yaşanan gelişmeler insanların enerji tüketimine olan ihtiyaçlarını arttırmıştır. Geleneksel enerji kaynaklarını oluşturan fosil yakıtların çevreye verdikleri zararlar ve fosil yakıt kaynaklarının dünya üzerinde giderek azalması insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Araştırmacılar bu alanda araştırmalar yapmaya başlamıştır.

Enerji günlük yaşantımızın vazgeçilmez ihtiyaçlarındandır. Enerji kullanımı günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren bir ölçü olarak kabul edilmektedir. Enerji üretim ve tüketimi çok olan ülkeler ekonomik olarak da gelişmişlik gösterdikleri bilinmektedir.

Dünyada tüketilen enerjinin %90 ına yakını fosil kaynaklardan üretilmektedir. Yapılan tahminlere göre fosil yakıtlar yakın zamanda tükenecektir. Fosil yakıtların yakılması ile ortaya çıkan gazlar sera etkisi oluşturmaktadır. Buda küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu zararları engellemek için temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir. Günümüzde enerji teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler sayesinde güneş enerjisi geniş bir araştırma ve uygulama alanı bulmuştur.

Güneş başlıca yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi sürdürülebilir enerji teknolojileri açısından geleceğin temel enerji üretim bileşenidir. Diğer geleneksel enerji kaynaklarının (fosil yakıtlar) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgar, hidrolik, biyoenerji gibi.) oluşum kaynağı da güneştir.

Güneş enerjisinin son yıllarda enerji sektöründe daha cazip hale gelmesinin başlıca sebepleri yapılan araştırmalar sonrasında güneş pillerinin verimliliğinin arttırılması, yüksek güvenirliliği ve maliyetlerinin giderek azalmasıdır. Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine avantajlarını şöyle sıralayabiliriz.

- Bol miktarda bulunan ve tükenmeyen enerji kaynağıdır.

- Temiz ve sürdürülebilir bir enerji çeşididir. Çevreyi kirletici gaz, duman, karbon monoksit gibi atıkları yoktur.
- Yerel uygulamalarda elverişlidir.
- Dışa bağımlı olmadığından, doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
- Karışık teknolojilere gerek duyulmamaktadır.
- İşletme masrafı çok azdır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Güneş enerjisinin bu üstünlüklerine rağmen uygulama alanında hala az olma sebepleri;

- Birim yüzeye gelen güneş ışınımı miktarı az olduğu için geniş alanlara ihtiyaç duyulur.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığı için depolama gerektirir.
- Kış aylarındaki güneş ışınımı miktarı az olup geceleri yoktur.
- Güneş ışınımından enerji üreten birçok sistem elemanının ilk yatırım maliyeti fazladır. Amortisman süresi uzundur (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Güneş enerjisinden yararlanma teknolojileri "Isıl Teknolojiler" ve "Fotovoltaik Teknolojiler" olmak üzere iki temel başlık altında toplanabilir. Isıl teknolojiler, gelen güneş ışınından faydalanarak ısıl enerji üretir. Fotovoltaik teknolojiler, yarı iletken malzemeden üretilmiş güneş pilleri sayesinde üzerine düşen güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürür. Bu teknolojilerin çalışma prensipleri ve üretilen enerji türleri birbirinden farklı olmasına rağmen güneş ışınım değerleri baz alınarak verimlilik ve üretim potansiyeli hesaplanır. Güneş ışınım miktarı güneş enerji sistemlerinin tasarım ve performans değerlendirmesinde en temel parametredir. Bu nedenle güneş enerji sistemi tasarımında güneş ışınımı bilgilerinin doğru bilinmesi önemlidir (Aslan, 2015; Bulut, 2008; Kılıç ve Öztürk, 1983).

Güneş ışınımı pyranometre adı verilen pahalı bir cihaz ile ölçülmektedir. Cihazın maliyetli olması dolayısıyla güneş ışınım ölçümleri sadece belirli merkezlerde yapılmaktadır. Ülkemizde bu ölçümler Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, bazı üniversite ve araştırma merkezleri tarafından yapılmaktadır. Ancak ülkemizde ve dünyada bu istasyonların sayısı oldukça azdır. Ölçülmüş meteorolojik verilerin mevcut olmadığı yerler için, güneş ışınımı modellerinin kullanımı güneş enerjisi sistemleri için gerekli verilerin tahmininde yaygın kullanılan bir uygulamadır.

Güneş ışınımı hesaplamalarında çeşitli amprik modeller oluşturmak için bazı parametreler kullanılmaktadır. Güneş ışınımı modellemesinde kullanılan parametreler dünya dışı radyasyon, güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık, bulutluluk, buharlaşma, bağıl nem, gün sayısı, yükseklik, enlem, boylam, tarih, saattir (Yörükoğulları, 2013; Aslan, 2015).

Genel olarak matematiksel modeller ile hesaplanan ve meteorolojik veriler arasında yaklaşık bir değer çıktığı gözlenmiştir. Hesaplanan değerlerin doğruluğunu arttırmak için bölgeye özgü model geliştirilmeli ya da kullanılan modelin katsayıları bölgeye göre belirlenmelidir. Bu katsayılar hesaplama yapılacak bölgenin gerçek coğrafik ve meteorolojik verilerine göre değişiklik göstermektedir. Bu alanda birçok araştırmacı farklı parametreleri kullanarak yeni matematiksel model üretmiştir. Yapılan bu hesaplamaların doğruluğu bilimsel çalışmalar sonucunda görülmektedir.

Bu çalışmada, güneş ışınımı modelleri kullanılarak güneş enerji santrallerinin verimlilik, maliyet gibi değerlerini hesaplayacak, fizibilite raporunu oluşturacak bir yazılım geliştirildi. Bu çalışmada şu adımlar takip edildi.

- Yapılan literatür taraması sonucunda matematiksel modeller incelendi. Ülkemiz şartlarına en uygun matematiksel model belirlendi.
- Meteorolojik verileri içeren bir veri tabanı oluşturuldu. Oluşturulan veri tabanı ile seçilen matematiksel model göz önünde bulundurularak en uygun ışınım aralıklarında hesaplamalar yapıldı.
- Kullanıcı dünya haritasından istediği bir bölgeyi seçebilecek. Seçilen bu bölgenin güneş ışınımı değeri saatlik, günlük, aylık olarak hesaplanacaktır.
- Kurulacak santral gücüne göre fotovoltaik panel sayısı, inverter sayısı ve bağlantı konfigürasyonları göz önünde bulundurularak sistem tasarımı oluşturulacaktır.
- Sistem kurulum maliyeti ve amortisman süresi hesaplanacaktır.
- Yapılan tüm hesaplamaların sonuçları grafikler ve tablolar ile kullanıcıya rapor edilecektir. Bu şekilde, kullanıcı bölgenin güneş ışınım değerlerini analiz ederek, güneş enerjisi kullanımı için uygunluğunu belirleyebilecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yeryüzündeki belirli bir yüzey üzerine düşen güneş radyasyonunu hesaplamak için farklı birçok güneş radyasyonu modeli bulunmaktadır. Bu kadar çok modelin oluşmasındaki sebep yüzey üzerine gelen güneş radyasyonun bilinmemesinden kaynaklı olarak araştırmacılar bölge şartlarını da göz önüne bulundurarak bölgeye uygun güneş radyasyon modellerini oluşturmuşlardır.

Angström ve Prescott'un (1924) yılında yapmış olduğu çalışma ile aylık ortalama günlük güneş radyasyon tahmini için ilk matematiksel güneş radyasyon modeli oluşturulmuştur. Bu model güneş radyasyonu hesaplamalarında kullanılan en yaygın modeldir. Sonradan yapılan birçok araştırmada Angström ve Prescott'un oluşturduğu bu model temel alınarak yeni modeller türetilmiştir.

Glover ve McCulloch tarafından (1958) yılında geliştirilen güneş radyasyon modelinde bölgenin enlem bilgisi de dahil edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Oluşturulan bu modelde enlem 60^o küçük olmalıdır.

Page (1961) yılında Angström ve Prescott tarafından oluşturulan model üzerinde iyileştirmeler gerçekleştirerek genel bir denklem üretmiştir. Bu ürettiği denklemin dünya üzerinde her bölge için uygulanabileceğini öne sürmüştür.

Kılıç ve Öztürk'ün (1983) yılında yaptıkları çalışmalardan sonra yatay düzlem üzerine düşen günlük toplam radyasyon, anlık radyasyon değerlerini ve eğik düzlem üzerine gelen anlık güneş radyasyonunu değerlerini bulmuştur. Oluşturulan bu matematiksel modelde Angström ve Prescott modeli baz alınarak geliştirilmiştir. Kılıç ve Öztürk modeli özellikle Türkiye için oluşturulmuş bir modeldir.

Olegman'ın öncülük ettiği (1984) yılında yapılan araştırmalar sonucunda yatay eksene düşen güneş radyasyonunu hesaplamak için ikinci dereceden polinom fonksiyonları kullanılmıştır. Böylece matematiksel modellerin hesaplanmasına yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Benson modeli (1984) yılında toplam güneş ışınımı hesabı için iklimsel parametreler de dahil edilerek oluşturulmuş matematiksel modeldir. Ekim-Mart periyodu ve Nisan-Eylül periyodu olarak iki farklı denklemden oluşmaktadır.

Zabara modeli (1986) yılında güneş radyasyon açılarıyla, günlük toplam ve anlık radyasyon miktarlarını a ve b katsayılarını kullanarak oluşturduğu polinom regresyon yöntemi ile hesaplar. Prescott-Page modeli referans alınarak a ve b amprik bağlantıları ile matematiksel model oluşturulmuştur.

Taşdemiroğlu ve Sever (1991) yılında yapmış oldukları çalışmada Türkiye de beş ayrı istasyondan aldıkları veriler ile güneş radyasyon modelini oluşturmuşlardır.

Said (1998) yılında oluşturduğu modelinde yatay yüzeye gelen radyasyon miktarını belirlemek için 1986-1990 yılları arasındaki Libya için ölçülen verileri kullanmıştır. İstatistiksel bir model gerçekleştirmiştir.

Bulut ve arkadaşlarının (1999) yılında yapmış olduğu çalışma ile Türkiye'nin bazı illerinde yatay düzleme gelen güneş ışınım şiddetini ve güneşlenme süresini hesaplayan trigonometrik denklemler oluşturulmuştur. Çalışma için Devlet Meteoroloji İşleri'nden alınan 1990-1996 yılları arasındaki meteorolojik bilgiler kullanılmıştır.

Toğrul ve çalışma arkadaşları (2000) yılında Elazığ bölgesinde yaptıkları çalışmada aylık yatay düzleme düşen güneş radyasyonunu hesaplamak için Angström modelinden yararlanılmıştır. Angström denklemindeki sabitler üzerinde çalışma yapmışlardır.

Bulut ve Büyükalaca'nın (2007) yılında birlikte yaptığı çalışmada Türkiye için bir güneş radyasyon modeli tasarlanmıştır. Bu model için Türkiye'deki 68 ölçüm istasyonundan 10 yıllık veriler alınarak günlük toplam ışınımı hesaplamak için bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin verdiği sonuçlar, gerçek zamanlı ölçümler ve literatür de yer alan diğer sonuçlar ile kıyaslanmıştır ve uygun değerler çıktığı gözlemlenmiştir.

Li ve çalışma arkadaşları (2010) yılında Tibet'te yaptıkları çalışmada farklı şehirlerde yer alan istasyondaki verileri kullanarak sekiz farklı modeli test etmişlerdir. Sonuçları istatiksel olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Tibet için Angström-Prescott modelindeki hesaplamalar gerçek değerlere yakınlığı dolayısıyla yeterli görülmüştür.

Düzen ve Aydın (2012) yılında Van'da yaptıkları çalışmada 7 farklı istasyondan aldıkları veriler ile yatay yüzeye gelen güneş ışınımını Angström-Prescott modeline

göre düzenlenmiştir. İstatistiksel yöntemlerden faydalanarak veriler karşılaştırılmıştır. Bu şekilde Van ve çevresine uygun olan model belirlenmiştir.

Sonuç olarak yapılan çalışmalara bakıldığında ilk çalışma 1924 yılında Angström-Prescott modelidir. Daha sonraki çalışmalarda araştırmacılar modele yeni bakış açıları, matematiksel yöntemler ve parametreler ekleyerek bölgesel ve uluslararası güneş radyasyon modeli geliştirmişlerdir. Yapılan bütün çalışmalardaki amaç araştırma yapılan coğrafyanın en doğru güneş değerlerini saptamaktır. Bu doğrultuda birbirinden farklı matematiksel, istatistiksel ve meteorolojik parametreler kullanılarak birçok güneş radyasyonu modeli oluşturulmuştur (Bulut, 2009).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Güneş ve Güneş Işınımı

Güneş dünyanın en büyük enerji kaynağıdır. Güneş enerjini daha iyi anlayabilmek için güneşin ve güneş ışınımının özelliklerini bilmemiz gerekmektedir. Böylece belirli bir bölgedeki güneş enerjisinden daha verimli şekilde faydalanabiliriz.

3.1.1. Güneş

Güneş, güneş sisteminin merkezinde bulunur. Helyum (%7) ve hidrojen (%93) gazlarından meydana gelmiş orta büyüklükteki bir yıldızdır. Yeryüzü ile güneş arasında ortalama uzaklık 149.6 x 10^9 km dir. Bünyesinde çok yoğun ve sıcak gazlar bulundurur ve çapı yaklaşık 1.39 x 10^6 km dir (Öztürk, 2008).

Güneşin merkezindeki sıcaklık yaklaşık olarak (8-40) x 10^6 ^{0}K dir. Dış yüzeyindeki sıcaklık ise 6000 ^{0}K civarındadır. Çok yüksek sıcaklık dolayısıyla elektronlar, atom çekirdeğinden koparlar. Bundan dolayı güneşte atom ve molekül yerine elektron ve atom çekirdekleri yer alır. Bu karışıma "plazma" denir. Güneş içerisinde sürekli olarak Hidrojen çekirdeklerinin Helyum çekirdeklerine dönüştüğü füzyon olayları oluşmaktadır. Füzyon çok yüksek sıcaklıklarda ve atom çekirdeği yardımıyla olduğundan "Termonükleer Füzyon" adını alır (Altın, 2004).

Güneşten oluşan enerjinin %90 ının termonükleer füzyon sonucunda güneş merkezinde gerçekleştiği düşünülmektedir. Güneş merkezinde meydana çıkan enerji yaklaşık olarak 3.83 x 10^{26} Watt ve sıcaklık 15 x 10^6 Kelvin'dir.

Güneşin en dış yüzeyinde yer alan tabakaya fotosfer denir. Güneş ışınımının büyük bölümü fotosferden yayılmaktadır. Bu tabakadaki enerji 6.33 x 10^7 W/m^2 ve sıcaklığı 6000 ^{0}K civarındadır.

Atmosfere ulaşan güneş ışınımının yaklaşık olarak %17.5'i atmosferi ısıtmak için kullanılır, %35'i yansıyarak tekrar uzaya döner. Geriye kalan %47.5 güneş ışınımı yerküreye ulaşır. Yerküreye gelen ortalama güneş ışınımı mevsimlere ve konuma göre değişiklik göstermektedir.

3.1.1.1. Güneş Sabiti

Güneş ışınlarının atmosfer dışındaki birim dik yüzeye saniyede gelen enerji miktarına güneş ışınımı denir. Dünya ve Güneş arasındaki mesafe değiştiğinden güneş ışınımı sabit değildir. Bundan dolayı Dünya ve Güneş arasında ortalama bir güneş ışınım değeri kullanmak hesaplamalarda kolaylık sağlar. İdeal koşullarda atmosfer dışındaki bu güneş ışınım değerine güneş sabiti denir. Güneş sabiti "Gsco" olarak adlandırılır ve yapılan çalışmalar neticesinde %1 hata payı ile 1367 W/m^2 olarak hesaplanmıştır (Duffie ve Backman, 1991).

Yeryüzüne gelen güneş ışınım miktarını atmosfer dışındaki güneş ışınım miktarı göz önünde bulundurularak hesaplanır. Dünya ve güneş arasındaki mesafenin değişken olması ve mevsimsel etkiler nedeniyle güneş sabitinde günlere göre azda olsa değişikler görülür. Düzeltme faktörü (f), ve yıl içerisindeki gün sayısı (n) olmak üzere;

$$f=1+0,033\cos(360*(n/365) \quad (3.1)$$

n=1 Ocaktan itibaren gün sayısı. f= Düzeltme faktörü.

Güneş sabitinin değeri (2.1). denklemdeki düzeltme faktöründen faydalanarak

$$Gsc=Gsco*f \quad (3.2)$$

olarak bulunur.

Çizelge 3.1: 1 Ocaktan itibaren gün sayısını hesaplama.

AYLAR	YILIN GÜN SAYISI (n)
OCAK	İ
ŞUBAT	İ + 31
MART	İ + 59
NİSAN	İ + 90
MAYIS	İ + 120
HAZİRAN	İ + 151
TEMMUZ	İ + 181
AĞUSTOS	İ + 212
EYLÜL	İ + 243
EKİM	İ + 273
KASIM	İ + 304
ARALIK	İ + 334

"n" değerinin hesaplanması için gereken belirlenen ayın gün değerini çizelgede denk gelen aydaki "i" değerinin yerine yazmaktır. Örneğin; 15 Kasım için "n" 15+304=319 eder.

3.1.1.2. Güneş Işınımı (Radyasyonu)

Işınım veya radyasyon, bir kaynaktan elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar şeklinde çevreye enerji aktarımıdır. Madde atomlardan oluşmaktadır. Atom ise elektron nötron ve protondan meydana gelmektedir. Bir atom çekirdeğindeki nötron sayısı, proton sayısından fazla ise bu maddeler kararsız yapıdadır. Kararsız yapıda olan radyoaktif maddeler alfa, beta, gama gibi ışınlar yayarak parçalanırlar. Bu şekilde parçalanarak ışın saçan maddelere "radyoaktif madde" veya "ışınımsal madde" denir. Radyoaktif maddelerden çevreye saçılan alfa, beta, gama gibi ışınlara da "radyasyon" veya "ışınım" denilmektedir. Güneş bir radyoaktif maddedir. Güneşten yayılan ışınlarda güneş ışınımı (radyasyonu) olarak adlandırılır. Güneşin taşıdığı enerji büyüklüğüne bakılınca güneş ışınımı genel olarak kısa dalga boyuna sahiptir. Güneş ışınım değerleri "İrradyans" ve İrradyasyon" kavramları ile açıklanır (Aslan, 2015).

İrradyans: Birim zamanda birim alana gelen güneş gücüne irradyans denir (W/m^2).

İrradyasyon: Belirli bir zaman aralığında birim alana gelen güneş enerjisi miktarına irradyasyon denir (Wh/m^2).

Güneş tarafından yayılan ve atmosfere ulaşan radyasyona güneş radyasyonu denir. Güneş radyasyonu bulunurken beş farklı kavram ile karşılaşırız. Bunlar;

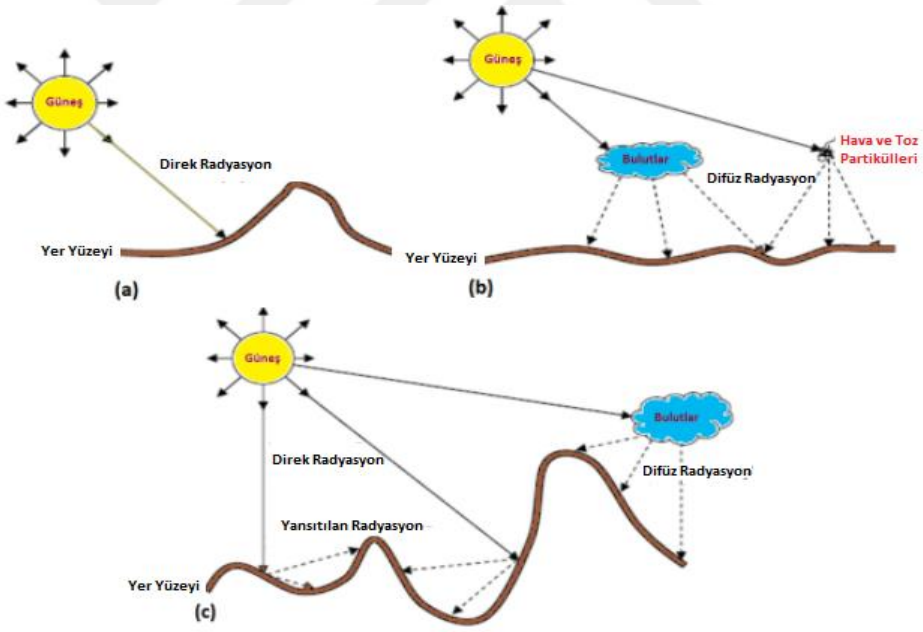
- Direk Radyasyon
- Difüz (Yayılan) Radyasyon
- Yansıtılan Radyasyon
- Albedo
- Toplam (Global) Radyasyon

Direk Radyasyon: Yansıma ve dağılmaya uğramadan açık gökyüzünden yeryüzüne kadar dik ulaşan güneş radyasyonudur. Pyrheliometre ile ölçülür. Pyrheliometrenin güneşi her zaman dik açı ile görmesi gerekir. Bunun için güneş tracker (izleyici)

kullanılır. Birimi W/m^2 dir. Direk radyasyon 120 W/m^2 üzerinde olduğu dakikalar güneşlenme süresi olarak kaydedilir.

Difüz (Yayılan) Radyasyon: Saçılarak ve dağılmaya uğrayarak yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonudur. Difüz (yayılan) radyasyon atmosferde bulut, hava molekülü, aerosoller gibi parçacıklar etkisi ve su damlacıkları nedeniyle atmosfer içerisinde dağılır. Bu şekilde dağılarak yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonu ise yeryüzüne çarparak tekrar dağılıma uğrar. Direk radyasyonundan difüz (yayılan) radyasyonu ayırmak için pyranometre gölge bandı, disk veya top kullanılır. Gölgeleme elemanı sayesinde difüz (yayılan) radyasyon ölçülür.

Yansıtılan Radyasyon: Gelen güneş radyasyonunun atmosferde, bulutlara hava moleküllerine ve yeryüzüne çarparak atmosfere tekrar gönderilen radyasyona yansıtılan radyasyon denir. Yansıtılan radyasyon miktarı gelen radyasyonun az bir kısmını oluşturur. Yerel radyasyon olarak ta adlandırılır.



Şekil 3.1. Güneş Radyasyonu Türleri. a) Direk Radyasyon b)Difuz Radyasyon c)Yansıtılan Radyasyon

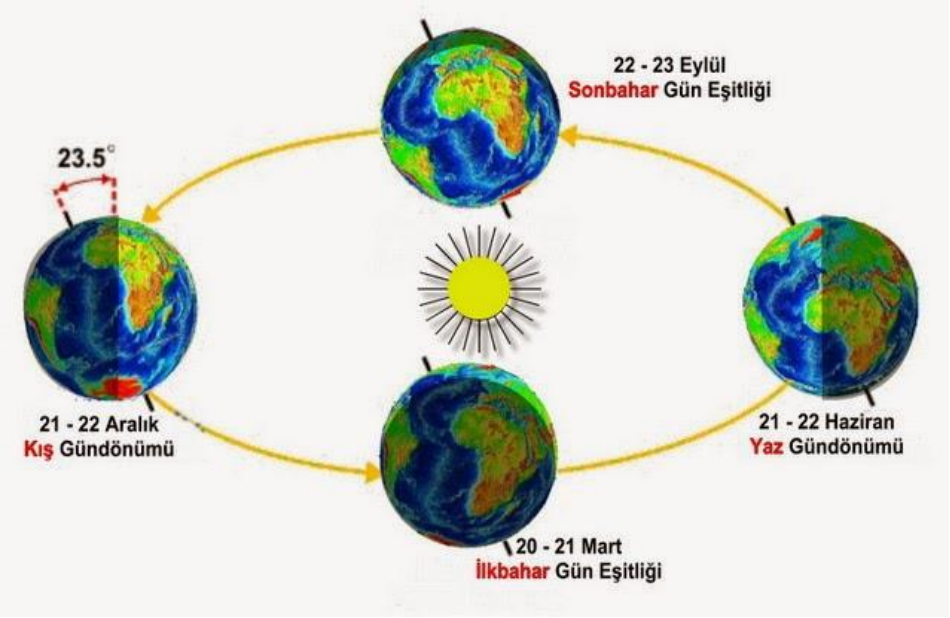
Albedo: Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonunun yerden yansımasının oranıdır. Yerden yansıtılan radyasyonun güneşten gelen toplam radyasyona oranı albedoya

eşittir. Albedo yansıtabilirlik ya da yüzeylerin yansıtma gücü olarak da tanımlanabilir. Albedo yer yüzeyine bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin kar ile kaplı bir yüzey iyi yansıtırken, toprak bir arazi daha az yansıtır. Yani, kar örtülü yüzeyin albedosu toprak araziden yüksektir.

Toplam (Global) Radyasyon: Direk radyasyon, difüz radyasyon ve yansıtılan radyasyonun toplamına global veya toplam güneş radyasyonu denir.

3.1.1.3. Güneş Işınım Geometrisi

Dünyanın eksen eğikliği ve güneş etrafındaki hareketine bağlı yeryüzüne gelen güneş ışınım miktarında değişiklikler meydana gelir. Ekvator düzlemi ile eliptik düzlem arasında 23.45^{o} lik bir eğiklik vardır. Dünya eliptik düzlem içinde bir yörüngede 365 gün 6 saatte güneş etrafında bir tam tur hareket eder. Bu hareket sonucu mevsimler meydana gelir. Ayrıca 24 saatte dünya kendi ekseni etrafında bir tur hareket eder. Dünyanın kendi ekseni etrafında dönüşü sonucunda gece gündüz oluşur.



Şekil 3.2. Dünyanın Güneş Etrafındaki Dönüşü

Şekilde de görüldüğü üzere kuzey yarımkürede yaz dönemi için dünyanın kuzey tarafı güneşe yakınlaşacak şekilde eğik duruma gelir. Benzer şekilde kış dönemi için dünyanın kuzey kısmı güneşten uzaklaşacak şekilde eğik duruma gelmiştir. İlkbahar ve sonbahar aylarında ise yakınlaşma ve uzaklaşma olmaz. Dünyanın güneş

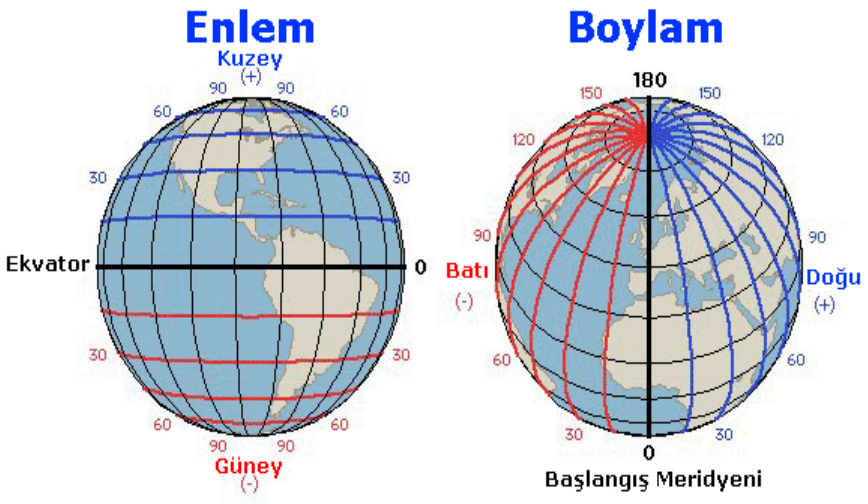
etrafındaki hareketi sonucu ekinoks (gece ve gündüzün eşit olması) tarihleri ve gün dönüm tarihleri meydana gelir. Bu tarihler mevsimlerin başlangıç ve bitiş tarihleri olarak kabul edilir. Ekinoks tarihleri 21 Mart ve 23 Eylül, gün dönüm tarihleri ise 21 Haziran ve 21 Aralık tarihlerine denk gelmektedir.

3.1.1.4. Güneşle İlgili Tanım ve Semboller

3.1.1.4.1. Enlem ve Boylam

Dünya üzerinde belirlenen herhangi bir koordinatı belirlemeye yarayan dereceli ölçülerdir. Dünya enlem ve boylam adı verilen hayali çizgiler yardımı ile alanlara ayrılmıştır. Kutuplardan geçen ve ekvatoru dik olarak kesen boylamlar meridyenleri meydana getirir. Meridyenler boylamların ölçülmesine yarar ve başlangıç meridyeni İngiltere'nin Greenwich kasabasındaki gözlem evidir. Greenwich gözlemevinin 180 batısında, 180 doğusunda olmak üzere 360 adet meridyen yayı bulunmaktadır.

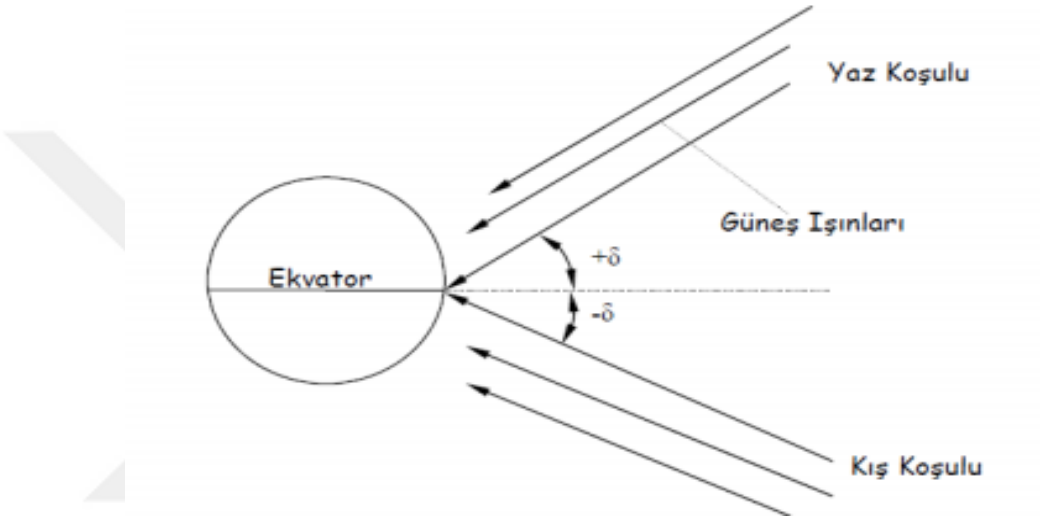
Ekvator dünyayı kuzey yarımküre ve güney yarımküre olarak ortasından iki eşit parçaya ayıran hayali dairedir. Enlem dünya üzerinde bir noktanın ekvator çizgisine olan uzaklığının açı olarak değeri şeklinde tanımlanır. Ekvatora paralel olarak uzanan kuzey yarım kürede 90 ve güney yarımkürede 90 olmak üzere 180 adet enlem vardır. Enlem ekvatorda sıfırdır. Kutuplara gittikçe değeri artar. Kuzey kutbunda $+90^{o}$ güney kutbunda -90^{o} değerini alır ($-90 < \varphi < 90$).



Şekil 3.3. Enlem ve Boylam

3.1.1.4.2. Deklinasyon Açısı

Güneş ışınlarının ekvator çizgisi ile yaptığı dar açıdır (δ). Güneş ışınlarının yerküreye geliş açısı olarak da tanımlanabilir. Deklinasyon açısı eğim açısı olarak da adlandırılır. Ekinoks tarihlerinde (21 Mart ve 23 Eylül) deklinasyon açısı sıfır (0^o) derecedir. Gün dönüm tarihlerinde (21 Haziran ve 21 Aralık) deklinasyon açısı maksimum ve minimum değerlerini alır ($-23,45° \leq \delta \leq 23,45°$). 21 Haziran tarihinde $23,45^o$, 21 Aralık tarihinde ise $-23,45^o$ olur.



Şekil 3.4. Deklinasyon Açısı

Deklinasyon açısı, 1 Ocaktan itibaren gün sayısı olmak üzere;

$$\delta = 23,45 \text{ x } \sin[(360 / 365) \text{ x } (284 + n)] \quad (3.3)$$

Cooper (1969) formülü ile bulunabilir. Deklinasyon açısının hesaplanabileceği farklı denklemlerde bulunmaktadır. Lunde (1980) ise aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$\delta = 23,45 \text{ x } \sin[(360 / 370) \text{ x } (n - 80)] \quad (3.4)$$

Cooper denklemi büyük oranda ölçülen değerlerle uyuştuğu için biz bu denklemi kullanacağız. Genelde deklinasyon hesabı yapılırken ayın tüm günleri yerine aylık ortalama gün değerlerine göre hesaplama yapılır. Bu nedenle ortalama aylık deklinasyon açısını veren günlere ihtiyaç duyarız. Aşağıdaki çizelgede ortalama açıyı veren günler ve karşılık gelen deklinasyon açıları verilmiştir (Duffie ve Beckman, 1991).

Çizelge 3.2: Aylık Ortalama Deklinasyon Açısını Veren Günler

AYLAR	Ayın Ortalama Günü	Yılın Günü (n)	Deklinasyon Açısı (δ)
OCAK	17	17	-20,92
ŞUBAT	16	47	-13,29
MART	16	75	-2,42
NİSAN	15	105	9,41
MAYIS	15	135	18,79
HAZİRAN	11	162	23,09
TEMMUZ	17	198	21,18
AĞUSTOS	16	228	13,45
EYLÜL	15	258	2,22
EKİM	15	288	-9,60
KASIM	14	318	-18,91
ARALIK	10	344	-23,05

3.1.1.4.3. Saat Açısı

Belirlenen yerin boylamı ve güneş ışınlarının bulunduğu boylam arasında kalan açıdır. Yani güneş saatinin açı olarak ölçülmesidir. Saat açısı, güneş boylamı ve referans alınan yerin boylamının aynı olduğu güneş öğleni vaktinde ölçülür. Öğle vakti sıfır (0), öğleden önceleri negatif (-), öğleden sonraları pozitif (+) değer alır. Boylam farkından dolayı 15^o lik her saat açısı 1 saate denk gelmektedir. Güneş açısını saat olarak bulabilmek için aşağıdaki formülden yararlanılır.

$$\omega = 15x(12 - ts) \quad (3.5)$$

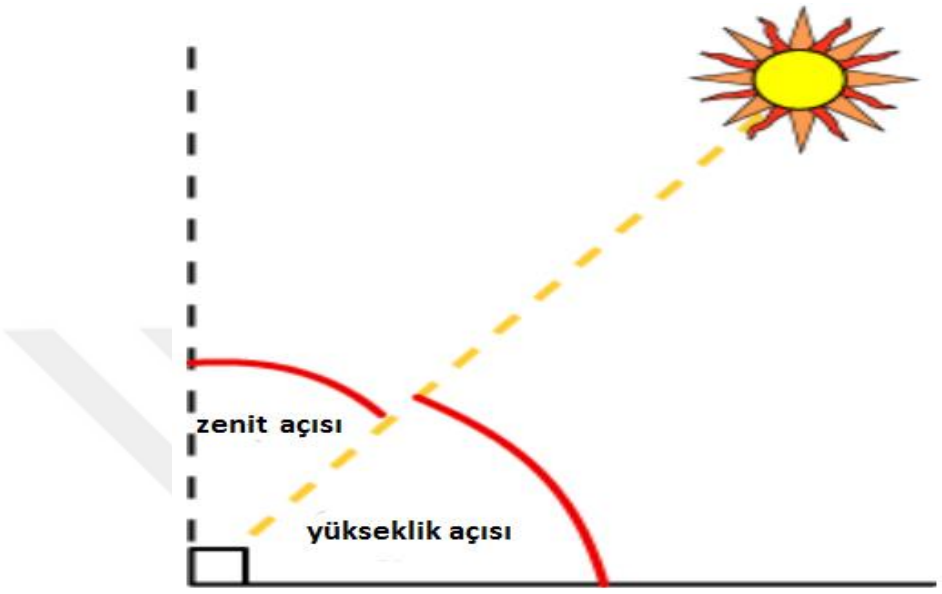
ω = Saat açısı

ts= Günün saati

3.1.1.4.4. Zenit Açısı ve Yükseklik Açısı

Güneş ışınlarının yatay yüzeyin normali ile yaptığı açıya zenit açısı denir. ”θ_z” ile gösterilir. Güneş ışınları dik geldiği zaman zenit açısı sıfır (0) derece olur. Güneşin doğduğu ve battığı an zenit açısı 90^o olur.

Güneş ışınları ve yatay yüzey arasında kalan açıdır. "α_s" ile gösterilir. Öğle vaktinde en yüksek değerini, güneşin doğuşunda ve batışında ise en düşük değerini alır. Yükseklik açısı zenit açısını 90^o 'ye tamamlar. Tanıma göre $\alpha_s = 90 - \theta_z$ olur. Yani $\cos \theta_z = \sin \alpha_s$ dir.



Şekil 3.5. Zenit ve yükseklik açısı

Zenit açısını bazı açılar yardımı ile aşağıdaki formülle bulabiliriz.

$$\cos(\theta_z) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\delta)\cos(\omega) \quad (3.6)$$

θ_z = Zenit açısı

φ = Enlem

δ = Deklinasyon açısı

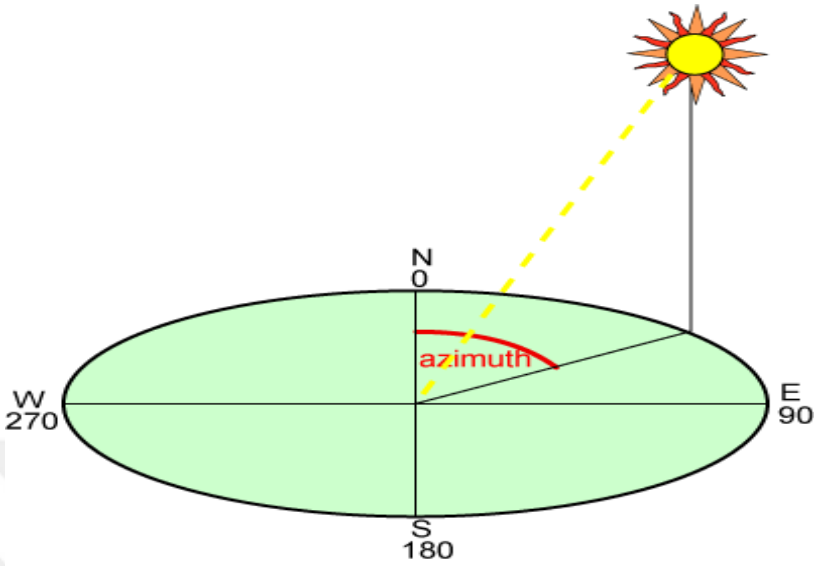
ω = Saat açısı

3.1.1.4.5. Azimut Açısı

Azimut açısı güneş azimut ve yüzey azimut açısı olarak iki farklı başlık altında toplanır.

Güneş Azimut Açısı (γs): Güneşten gelen ışınların kuzeye göre, saat yönünde sapmasını gösteren açıdır. Yani güneş azimut açısı herhangi bir alanda ve zamanda, güneşin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney yönü arasında kalan açıdır. Güneyden

doğuya doğru negatif (-), batıya doğru pozitif (+)olarak kabul edilir. Saat 12.00'da güneş azimut açısı (γs) 180^o olur.



Şekil 3.6.Güneş Azimut Açısı

Azimut açısı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$Cos(\gamma s) = [\ cos(\delta\ ) sin(\ \varphi\ )\ \ cos(\ \omega\ ) - sin(\delta)\ cos(\varphi)] / cos(\alpha_s) \qquad (3.7)$$

Yüzey Azimut Açısı (γ): Yüzeyin normalinin yerel boylama göre sapmasını ifade eden açıdır. Güneye bakan düzlem için azimut açı değeri sıfırdır(γ =0). Yüzey azimut açısı -180 ile 180 arasında değer alır (-180< γ <180). Doğuya doğru negatif (-), batıya doğru pozitif (+) değer alır.

3.1.1.4.6. Güneş Zamanı

Güneşin açısal hareketinin zaman esaslı gösterilmesidir**.** Güneş, gözlemci boylamından geçerken ve gözlemci için yükseklik açı değeri en yüksek olduğu an gözlem yerinde güneş zamanı ve öğlen vaktidir. Yani güneş zamanı 12 ve saat açısı sıfırdır (0^o).

Güneş-açı ilişkilerinde güneş zamanı kullanılır. Güneş zamanı ve yerel saat birbirinden farklı kavramlardır.

3.1.1.4.7. Gün Doğumu ve Gün Batımı

Güneşin doğuşu ve batışı sırasında ışınlar yatay yüzeye paralel olarak gelir. Bu esnada zenit açısı 90^o ve güneş yükseklik açısı 0^o olur. Zenit açısı öğle vakti 0^o olduğu için güneş doğduğu anda yarım günlük güneşlenme zamanı şu şekilde bulunur;

$$\cos \omega = - [(\sin \varphi \sin \delta) / (\cos \varphi \cos \delta)] = (-\tan \varphi \tan \delta) \quad (3.8)$$

$$\omega = \cos^{-1} (-\tan \varphi \tan \delta) (°) \quad (3.9)$$

Bu denklem derece cinsinden yarım günlük güneşlenme zamanını vermektedir. Tam günlük güneşlenme zamanı için;

$$\omega^1 = 2\omega = 2 \cos^{-1} (-\tan \varphi \tan \delta) \quad (3.10)$$

denklemi kullanılır. 15^o saat açısı 1 saate denk gelmektedir. Yukarda bulduğumuz derece cinsinden saat açısını saate çevirmek için;

$$\omega_s = (2 / 15) \cos^{-1} (-\tan \varphi \tan \delta) \quad (3.11)$$

denkleminden faydalanırız. ω_s'nin birimi saattir (h).

Ülkelerin kullandığı standart saat zamanı ile güneş saati zamanı birbirinden farklı kavramlardır. Standart saatin güneş saatine dönüştürülmesi için standart boylam ile bölgenin boylamı arasındaki fark ve zaman düzeltme faktörü dikkate alınır. Boylam değeri Greenwich'in doğusundaki ülkeler için negatif, batısındaki ülkeler için pozitif alınır. Aşağıdaki denklem ile ülke saatlerini bulabiliriz.

$$YS = GOZ + [E – 4(Boylam)] / 60 \quad (3.12)$$

YS= Yerel Saat

GOZ= Greenwich Ortalama Zamanı (Greenwich için yerel saat 0^o boylamına göre hesaplanır.)

E= Dünya yörüngesindeki düzensizlik için düzeltme faktörü

Türkiye'ye göre Greenwich Ortalama Zamanı şu denklem ile hesaplanır. Denklem içerisinde yer alan "SS" ifadesi standart saati ifade etmektedir.

$$GOZ = (SS-3) \quad (3.13)$$

Zaman düzetme faktörünü hesaplamak için;

$$E=229,2[0.000075+0.00186\cos(B)+0.03207\sin(B)-0.00146\cos(2B)- 0.04089\sin(2B)] \quad (3.14)$$

$$B=(360 / 365)(n - 1) \quad (3.15)$$

denklemleri kullanılır.

3.1.1.4.8. Yatay Eksende Atmosfer Dışı Radyasyon

Güneş Enerjisi projelerinde sadece güneşlenme zamanı bilgisini bilmek yeterli değildir. Güneş ışınım şiddetinin de bilinmesi gerekmektedir. Yeryüzüne gelen ışınım şiddetini bulmak için atmosfer dışında yatay eksene gelen güneş ışınımını bilmemiz gerekir. Atmosfer dışında yatay yüzeye gelen güneş ışınımı;

$$I_0 = Gsco * f * \cos(\theta_z) \quad (3.16)$$

$$I_0 = Gsco * [1+0,033\cos(360*(n/365)] * \cos(\theta_z) \quad (3.17)$$

$$I_0 = Gsco * [1+0,033\cos(360*(n/365)] * [\sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\delta)\cos(\omega)] \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilir. Yatay yüzeye gelen günlük atmosfer dışı radyasyonu hesaplamak için;

$$H=[(24*3600) / \pi] * Gsco * f *[(\cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s) + ((\pi * \omega_s) / 180)* \sin(\varphi)\sin(\delta)] \quad (3.19)$$

denklemi kullanılır. Denklemde H yatay yüzeye düşen günlük dünya dışı radyasyon, Gsco güneş sabiti, ωs güneşlenme zamanıdır.

Yatay bir yüzeye eğik gelen ışınımlar (H_T) ve dik gelen ışınımlar (H) olsun. Bunlar arasındaki ilişki;

$$H_T=H * \cos(\theta_z) \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilir. Burada θ_z zenit açısını gösterir.

Genellikle aylık ortalama değerlere ihtiyaç duyulur. Birinci gün boyunca yatay düzleme gelen ışınım miktarı H_1 n. gün yatay yüzeye gelen ışınım miktarı H_n olsun.

Bunların ortalamasını bulmak için toplamlarını n gün sayısına böleriz. Fakat bu işlem karmaşasını önlemek için günlük dünya dışı radyasyonun aylık ortalaması (Ho), yapılan hesaplamalar sonucu aşağıdaki çizelgede verilen günler referans alınarak hesaplanması sonucunda bulunabilir.

Çizelge 3.3: Aylık Ortalama Günlük Dünya Dışı Radyasyonunu Veren Günler

AYLAR	Ayın Ortalama Günü
OCAK	17
ŞUBAT	16
MART	16
NİSAN	15
MAYIS	15
HAZİRAN	11
TEMMUZ	17
AĞUSTOS	16
EYLÜL	15
EKİM	15
KASIM	14
ARALIK	10

3.1.1.5. Eğilimli Yüzeylerdeki Güneş Radyasyonu

Güneş enerji sistemlerinin en önemli girdisini güneş radyasyonu oluşturmaktadır. Meteorolojik veriler genel olarak yatay yüzeye gelen toplam radyasyon miktarını gösterirler. Fakat fotovoltaik paneller çoğunlukla belirli açılar ile yerleştirilirler. Bu yüzden eğimli yüzeylere düşen güneş radyasyonunun da bilinmesi sistem tasarımı için önemlidir. Güneş radyasyonu teorik olarak hesaplanırken birçok parametre kullanılmaktadır. Bu hesaplamalardaki temel prensip, ölçümü kolay parametrelerden faydalanarak teorik modeller ile güneş radyasyonunu hesaplamaktır. Radyasyon şiddetini hesaplamak için kullanılan en yaygın ifade şöyledir.

$$H / H_O = a + b\,(n / N) \qquad (3.21)$$

Burada H, aylık ortalama güneş radyasyonu; H_O, aylık ortalama atmosfer dışı radyasyon; (H/H_O), Bulutluluk indeksi (K_T); n, aylık ortalama güneşlenme süresi; N, aylık ortalama gün uzunluğu; a ve b, istatistiksel yöntemlerle hesaplanmış sabitlerdir.

Denklemde yer alan sabitler, bölgenin iklim durumu, meteorolojik bilgileri, topografik yapısı ve bitki örtüsüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

3.1.1.5.1. Eğilimli Yüzeylerdeki Güneş Radyasyonu Hesabı

Eğimli yüzeye gelen güneş radyasyonunu hesaplayabilmek için yatay yüzeye gelen toplam, difüz ve direk güneş radyasyon değerlerini bilmek gerekir. Eğik yüzeye gelen güneş ışınımı (H_T),

$$H_T = R\ H = R\ K_T\ H_O \qquad (3.22)$$

Denklemdeki R, eğimli yüzeye gelen toplam güneş radyasyonunun, yatay yüzeye gelen toplam güneş radyasyonuna oranıdır. Liu ve Jordan tarafından R değerini hesaplamak için,

$$R = [1 - (H_d / H)]R_b + H_d / H[(1 + \cos\beta) / 2] + \rho[(1 - \cos\beta) / 2] \qquad (3.23)$$

Denklemi oluşturulmuştur. Bu denklemde yerin yansıtma oranı (ρ), bitki örtüsüne, topografik yapıya göre değişiklik gösterir. Bu değer ortalama 0,2 civarındadır. β ise yüzeyin eğim açısıdır. Aşağıdaki çizelgede bazı yüzeylerin yansıtma katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.4: Farklı yüzeylerin yansıtma katsayıları

YÜZEY	Ortalama Yansıtma Katsayısı (ρ)
Kar	0,75
Su yüzeyi	0,07
Çim (Yeşil)	0,26
Çim (Kuru)	0,20
Beton alan	0,22
Toprak	0,14
Ormanlar (Kış)	0,07
Ormanlar (Sonbahar)	0,26
Çöl kumu	0,40
Ölü yapraklar	0,30

R_b faktörü yatay düzleme gelen direk güneş radyasyonunun eğik düzleme gelen direk radyasyona oranıdır. Güney yönüne bakan sistemler için R_b denklem (3.24)'de;

$$R_b = [\cos\delta\cos(\varphi-\delta)\sin\omega_s{}' + (\pi/180)\,\omega_s{}'(\varphi-\delta)\sin\delta] / [\cos\varphi\cos(\delta)\sin\omega + (\pi/180)\,\omega\sin\varphi\sin\delta] \quad (3.24)$$

Denklemde yer alan $\omega_s{}'$;

$$\omega_s{}' = \min[\omega_s, \cos^{-1}(-\tan(\varphi-\beta)\tan\delta)]$$

$$\omega = \cos^{-1}(-\tan\varphi\tan\delta)$$

3.1.1.6. Fotovoltaik Panellerin Yerleştirilmesi

Güneş enerji santrali tasarımı ve uygulamaya geçirme aşamasında mühendislik yöntemleri kullanılarak daha verimli bir santral oluşturulmalıdır. Santral oluşturulmadan önce tüm analizlerin doğru bir şekilde yapılmış olması gerekmektedir. Panellerin doğru açı ve mesafede yerleştirilmesi doğru bir gölge analizinin yapıldığı anlamına da gelmektedir.

Kurulacak olan güneş enerji santralinin verimliliğini en yüksek seviyeye çıkarmak için, fotovoltaik panelleri, mevcut olan alanımıza en uygun şekilde ve uygun açıda yerleştirmekle mümkündür. Bunların dışında doğru malzeme seçimi ve elektrik hesaplarının yapılması gerekmektedir. Santral kurulurken panellerin yatay veya dikey konumda nasıl yerleştirilecekleri ve arka sıradaki panel dizisine olan gölge etkisinin hangi mesafede minimum seviyeye çekilebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Panel dizilimi yaparken yatay mı dikey mi konumlandırmaya karar vermeden önce ilk olarak bir sıraya kaç panel sığdırılacağı ve belirli bir yüksekliğe kadar kaç panel yerleştirilebilir sorularını cevaplamamız gerekmektedir. Bu soruları öndeki sıranın arkadaki sıraya yapacağı gölge boyunu hesaplayarak cevaplayabiliriz. Gölgelenme mesafesi iki panel dizisi arasında gölge etkisi olmadan minimum alan olarak hesaplanmalıdır. Bu mesafeyi minimum seviyede tutmak mevcut alanımıza maksimum sayıda panel yerleştirmek anlamına gelir.

Hesaplamanın ilk adımı olarak panel dizileri arasındaki mesafeyi belirlemek gerekir. Aşağıdaki resimde de gösterildiği gibi panel yüksekliği yatay konumdaki panel dizisi için W, dikey konumdaki panel dizisi için L olarak ifade edilmiştir. Öndeki

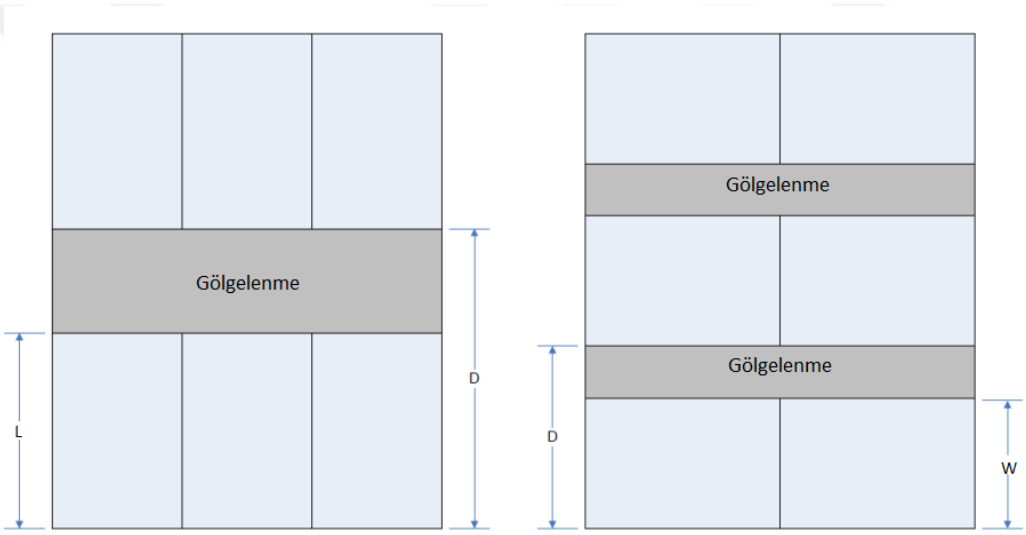
panel dizisi ve arkadaki panel dizisi arasındaki mesafe D olarak belirlenmiştir. D uzunluğu panelin uzunluğu ve eğim açısına bağlıdır. θ sistemin kurulacağı enlemin eğimini ifade etmektedir. Panellerin eğimini β ile ifade edersek iki panel dizisi arasındaki mesafeyi şu bağıntılar ile bulabiliriz.

Dikey konum için;

$$D = \sin(\theta + \beta) * (L / \sin\beta) \quad (3.25)$$

Yatay konum için;

$$D = \sin(\theta + \beta) * (W / \sin\beta) \quad (3.26)$$



Şekil 3.7:Panellerin yerleştirilmesi

Mevcut alanımıza yerleştirebileceğimiz panel sayısı (n);

Dikey konum için;

$$n = A / (W * D) \quad (3.27)$$

Yatay konum için;

$$n = A / (L * D) \quad (3.28)$$

olarak hesaplanır. Denklemlerde A ile ifade edilen kullanılan alandır. Denklemdeler de D ifadesi yerine konulduğu zaman dikey konum için;

$$n = A / (W * \sin(\theta + \beta) * (L / \sin\beta)) \quad (3.29)$$

$$n = A^* \sin\beta / (W * L * \sin(\theta + \beta)) \quad (3.30)$$

Yatay konum için;

$$n = A / (L * \sin(\theta + \beta) * (W / \sin\beta)) \quad (3.31)$$

$$n = A^* \sin\beta / (W * L * \sin(\theta + \beta)) \quad (3.32)$$

ifadeleri elde edilir. Görüldüğü gibi mevcut alana sığan panel sayısı aynıdır.

3.1.1.7. Güneş Enerji Santrali Enerji Üretim Hesapları

Güneş enerji santrallerinde üretilen enerjiyi hesaplamak için güneş radyasyon miktarı, panel alanı, efektif sistem verimi, panel eğimi gibi bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgilerin mevcut olduğu yerler için enerji üretim hesabı yapılabilmektedir. Enerji üretim hesabı için şu eşitlik kullanılmaktadır.

$$E_T = H_O * A * n_e * (1 / \cos(\beta)) \quad (3.33)$$

E_T: Santralde üretilen toplam enerji (kWh/yıl)

H_O: Birim yüzeye gelen güneş radyasyon miktarı (kWh/m^2)

n_e: Efektif sistem verimi

β: Panel eğimi

A:Güneş paneli toplam hücre alanı

$$A = A_H * n \quad (3.34)$$

A_H: Paneldeki hücre alanı

n: Toplam panel sayısı

$$A_H = nh * l_1 * l_2 \quad (3.35)$$

nh: paneldeki hücre sayısı

l_1: hücre boyu

l_2: hücre eni

Efektif sitem verimi ne şu şekilde hesaplanır.

$$n_e = n_P * n_{DC} * n_İ * n_{AC} * n_{TR} * n_{OG} \quad (3.36)$$

Denklemde yer alan np: panel hücre verimliliğini, n_{DC}: DC kablo verimliliğini, $n_İ$: inverter verimliliğini, n_{AC}: AC kablo verimliliğini, n_{TR}: Trafo verimliliğini, n_{OG}: Trafo kabini ile bağlantı noktası arasındaki OG kablo verimini ifade etmektedir. Tüm sonuçlar denklem (3.33) de yerine konulduğunda üretilen toplam enerji bulunmaktadır.

3.2. Güneş Işınım Modellemesinde Kullanılan Araçlar

Güneş ışınım verileri birçok mühendislik uygulamalarında ve bilimsel araştırmada kullanılmaktadır. Uygulama alanı çok olmasına rağmen güneş ışınımı verisi hava sıcaklığı gibi hazır kullanılabilen bir bilgi değildir. Güneş ışınımı pyranometre ile ölçülmektedir. Pyranomete pahalı bir ölçüm cihazıdır. Bundan dolayı pyranometre cihazı birçok yerleşim merkezinde ya sınırlı sayıda bulunur ya da hiç bulunmaz. Ancak birçok yerleşim yerinde hava sıcaklığı, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı, hava basıncı, nispi nem gibi meteorolojik bilgiler ölçülebilmektedir. Bu veriler ile güneş ışınım değerlerinin doğru olarak hesaplanması sağlanmıştır (Bulut, 2008).

Meteorolojik verilerin ölçülmesinde kullanılan cihazları kısaca tanıyalım;

Pyranometre: Yeryüzüne gelen doğrudan ve difuz ışınım değerlerinin toplamına global güneş ışınımı denir. Pyranometre, bir yüzeyin birim alanı üzerine birim zamanda gelen global güneş ışınımının ölçülmesinde kullanılır (Anonim, 2010).



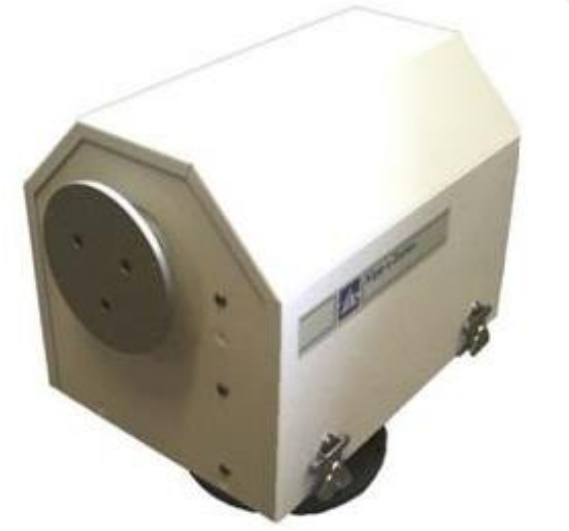
Şekil 3.8. Pyranometre

Pyrheliometer: 0,2 – 0,4 μm dalga boyundaki yeryüzüne açık gökyüzünden direkt ulaşan güneş ışınımının ölçümünde kullanılır (Anonim, 2010).



Şekil 3.9. Pyrheliometer

Tracker: İçerisinde bulunan mikrobilgisayar tarafından kontrol edilen step motorla çalışır. Güneş konumu belirlenmesi için mikro bilgisayarlara yüklenen matematiksel algoritmalar yardımıyla güneşin konumu bulunur. Yetkili kişiler tarafından istasyonun enlem, boylam, yükseklik ve saat bilgileri tracker içerisine kaydedilir. Tracker bu bilgiler doğrultusunda güneşi takip eder.



Şekil 3.10. Tracker

Anemometre: Rüzgarın hızını ve yönünü direk olarak ölçen cihazdır. Rüzgarın hızını ölçmek için kepçeli anemometre cihazı kullanılır. Rüzgar etkisiyle kepçeler döner. Birim zamandaki dönüş sayısı referans alınarak rüzgar hızı belirlenir. Seyyar kullanımlar için küçük el anemometrelerde mevcuttur (Anonim, 2010).



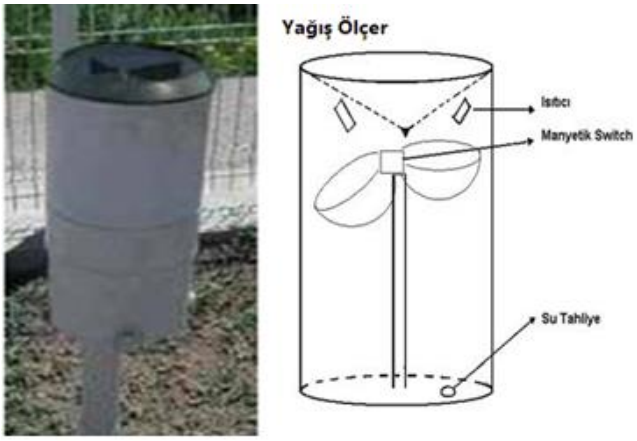
Şekil 3.11. Anemometre

Higrograf: Bulunduğu konumun nispi nemini sürekli olarak kaydeden cihazlar higrograf olarak adlandırılır (Anonim, 2010).



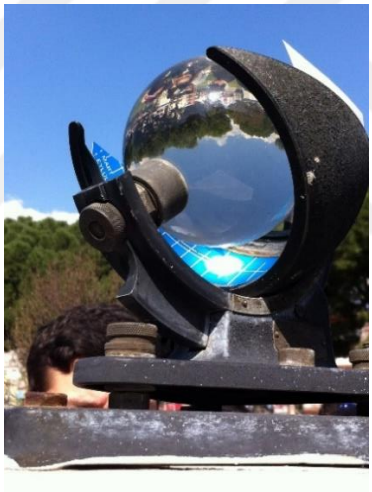
Şekil 3.12. Higrograf

Plüviyometre: Atmosferde su buharının yoğunlaşarak yerçekimi etkisi ile, yer yüzeyine düşen ve toprak üzerine belli miktarda su veren olaylara yağış denir. Su toplama kabında toplanan yağış, mihber adı verilen taksimatlı yağış ölçeği ile milimetre cinsinden ölçülür. Atmosferden yeryüzeyine düşen yağışı direkt olarak ölçen alete plüviyometre diyagram üzerine kaydeden alete ise plüviyograf denir (Anonim, 2010).



Şekil 3.13. Plüviyometre

Helyograf: Güneş ışınlarının süresini tutan diğer bir ifade ile günün güneşli geçtiğini kısmı kayıt eden cihazlara helyograf denir. Bu cihaz, güneşten gelen doğrudan güneş ışınlarını kaydeder (Anonim, 2010).



Şekil 3.14. Helyograf

Termometre: Bir cismin sıcaklığı hakkında bilgi veren cihazlara termometre denir.



Şekil 3.15. Termometre

Barometre: Herhangi bir yüzeydeki birim alanın yüzey üzerindeki hava sütununun yapmış olduğu etki kuvvetine basınç denir. Atmosfer basıncını ölçmeye yarayan alete barometre denir (Anonim, 2010).



Şekil 3.16. Barometre

3.3. Anlık Işınım Şiddeti İçin Kullanılan Matematiksel Model Seçimi

Güneş enerji sitemleri tasarlanmadan önce bilinmesi gereken en önemli verilerin başında güneş radyasyonu gelmektedir. Güneş radyasyonu belirlenirken meteorolojik ölçüm verileri yerine, bölge için uygun matematiksel model kullanımı tercih edilmektedir. Güneş ışınım ölçüm cihazlarının bakım, onarım, kalibrasyon ve maliyeti yüksek olmasından kaynaklı matematiksel modeller ile işlem yapmak daha uygundur. Matematiksel modeller bilgisayar programları yardımı ile bölgenin gerçek radyasyon değerlerine yakın değerler oluşturmaktadır.

3.3.1. Kullanılan Matematiksel Modeller

Güneş radyasyonunu belirlemek için birçok matematiksel model geliştirilmiştir. Bu matematiksel modellerden bazıları şöyledir.

1) Angstrm, Prescott Modeli: Güneş radyasyonu hesaplaması üzerine yapılan ilk çalışmalardandır. Lineer model olarak da bilinmektedir.

$H / H_O = 0,307992 + 0,33741 (n / N)$

2) Page Modeli: En çok kullanılan modellerden biridir. Dünyanın her yerinde geçerli olduğunu iddia etmektedir. Denklem için oluşturulmuş katsayılar şöyledir.

$H / H_O = 0,23 + 0,48 (n / N)$

3) Jain Modeli: İtalya'ya özgü bir modeldir.

$H / H_O = 0,177 + 0,692 (n / N)$

4) El-Metwally Modeli: Mısır'a özgü bir modeldir.

$H / H_O = 0,228 + 0,527 (n / N)$

5) Bakırcı Modeli: Türkiye'ye özgü bir modeldir.

$H / H_O = 0,2786 + 0,4160 (n / N)$

6) Katiyar Modeli: Hindistan için oluşturulmuş bir modeldir.

$H / H_O = 0,2281 + 0,5093 (n / N)$

7) Tırıs Modeli: Türkiye'nin Gebze ilçesine özgü modeldir.

$H / H_O = 0,2262 + 0,418 (n / N)$

8) Li Modeli: Çin'in Tibet şehrine özgü bir modeldir.

$H / H_O = 0,2223 + 0,6529 (n / N)$

9) Said Modeli: Libya'nın Trablus şehri için oluşturulmuş bir modeldir.

$H / H_O = 0,215 + 0,527 (n / N)$

10) Ülgen ve Özbala Modeli: Türkiye'nin İzmir şehrine özgü modeldir.

$H / H_O = 0,2424 + 0,5014 (n / N)$

11) Aras Modeli: Türkiye için oluşturulmuştur. İç Anadolu Bölgesine özgü bir modeldir.

$H / H_O = 0,3078 + 0,4166 (n / N)$

12) Toğrul Modeli: Türkiye'nin bazı şehirleri için oluşturulmuş modeldir(Ankara, Antalya, İzmir, Aydın, Adana ve Elazığ).

$H / H_O = 0,318 + 0,0449 (n / N)$

13) Kılıç ve Öztürk Modeli: Türkiye için oluşturulmuş modeldir.

$H / H_O = a + b (n / N)$

$a = 0,103+0,000017z + 0,198\cos(\varphi - \delta)$

$b = 0,533 – 0,165\cos(\varphi - \delta)$

14) Soler Modeli: Avrupa da bulunan 100 istasyondan alınan verilere göre oluşturulmuş bir modeldir. Her ay için ayrı bir katsayı hesaplanmıştır.

Ocak: $H / H_O = 0,18+ 0,66 (n / N)$

Şubat: $H / H_O = 0,20 + 0,60 (n / N)$

Mart: $H / H_O = 0,22 + 0,58 (n / N)$

Nisan: $H / H_O = 0,20 + 0,62 (n / N)$

Mayıs: $H / H_O = 0,24 + 0,52 (n / N)$

Haziran: $H / H_O = 0,24 + 0,53 (n / N)$

Temmuz: $H / H_O = 0,23 + 0,53 (n / N)$

Ağustos: $H / H_O = 0,22 + 0,55 (n / N)$

Eylül: $H / H_O = 0,20 + 0,59 (n / N)$

Ekim: $H / H_O = 0,19 + 0,60 (n / N)$

Kasım: $H / H_O = 0,17 + 0,66 (n / N)$

Aralık: $H / H_O = 0,18 + 0,65 (n / N)$

15) Benson Modeli: Ekim-Mart arası ve Nisan-Eylül arası olarak iki farklı model geliştirilmiştir.

Ekim- Mart: $H / H_O = 0,18 + 0,60 (n / N)$

Nisan-Eylül: $H / H_O = 0,24 + 0,53 (n / N)$

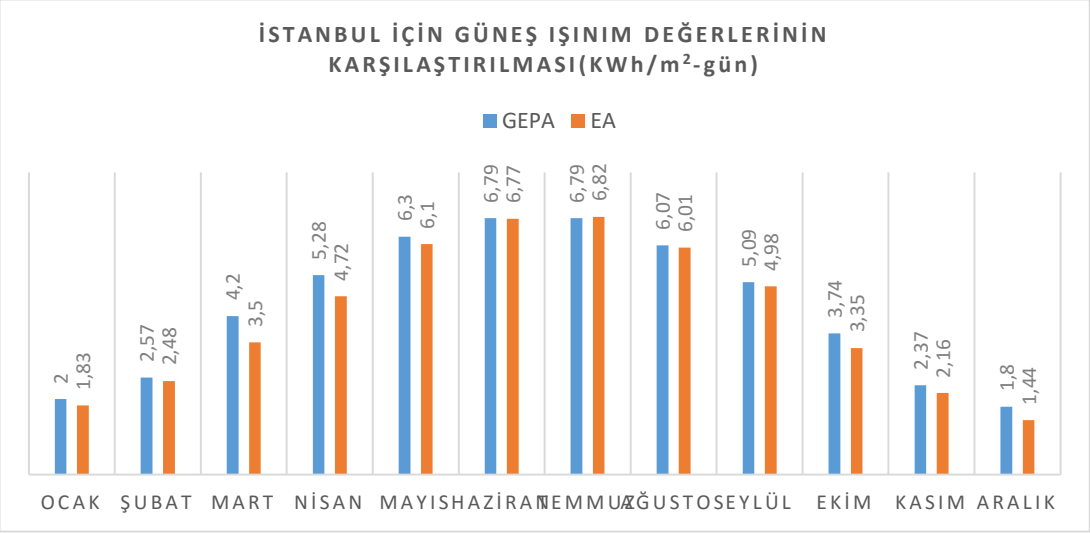
3.3.2.Matematiksel Modellerden Elde Edilen Sonuçlar

Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş radyasyonunun analiz edilmesinde literatürde yer alan farklı coğrafi alanlara ait hesaplanmış modellerden faydalanıldı. Işınım değeri tahmini için on beş farklı model incelendi. Bu modeller kullanılarak sekiz farklı şehir için güneş radyasyonları hesaplandı. İncelenen modeller ve ölçülen değerler arasında kıyaslama yapıldı.

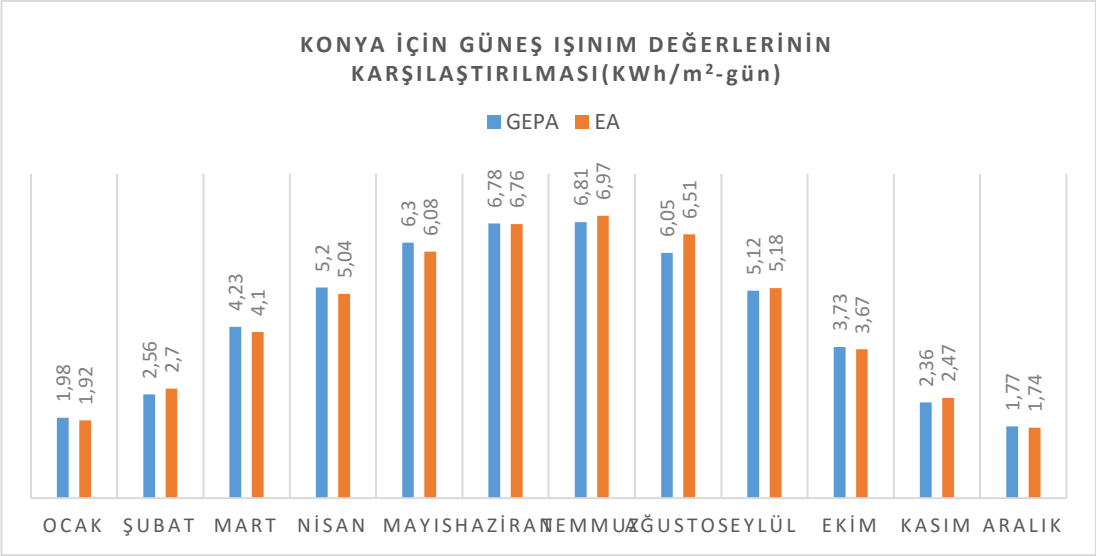
Tüm matematiksel modeller ölçülmüş değerlere yakın sonuçlar üretmektedir. Bölgesel oluşturulan modeller kendi bölge ve civarında daha iyi sonuçlar verirken bölgeden uzaklaştıkça hata payı artmaktadır. Çalışmada incelenen modeller arasında aylık hata payı yüzdesi 0,295- 12,98 değerleri arasında değişmektedir.

Modeller arasında yaptığımız kıyaslamalar sonucunda Türkiye geneli için hata oranı minimum düzeylerde olan matematiksel model göz önüne alınarak uygulamanın geliştirilmesi uygun görüldü. Bu kapsamda uygulamamız için Türkiye geneli için oluşturulmuş olan Kılıç ve Öztürk modelinden yararlanacağız.

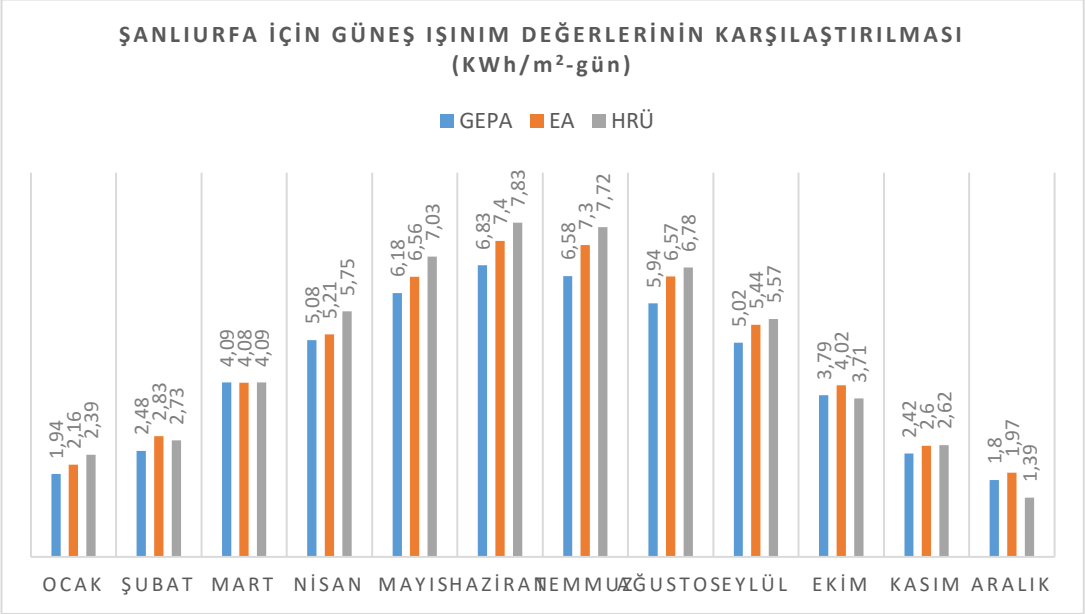
Projemiz de kullandığımız matematiksel model sonuçları ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından hazırlanan Türkiye için Güneş Enerji Potansiyel Atlası (GEPA) sonuçları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar da matematiksel modelin yıllık radyasyon miktarı göz önüne alındığında GEPA değerlerine yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 3.17:İstanbul İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 3.18: Konya İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 3.19: Şanlıurfa İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şanlıurfa ili için güneş radyasyonu hesaplanırken GEPA haritası haricinde Harran Üniversitesi Meteoroloji Ölçüm İstasyonu verileri ile de karşılaştırılmıştır. Ve hesaplanan değerin meteoroloji istasyonunda ölçülen gerçek değerlere daha yakın olduğu görülmüştür. Karşılaştırma yapılan diğer illerin grafikleri kitabın sonundaki ekler kısmında verilmiştir.

3.4. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Tabanlı Güneş Işınım Modelleri

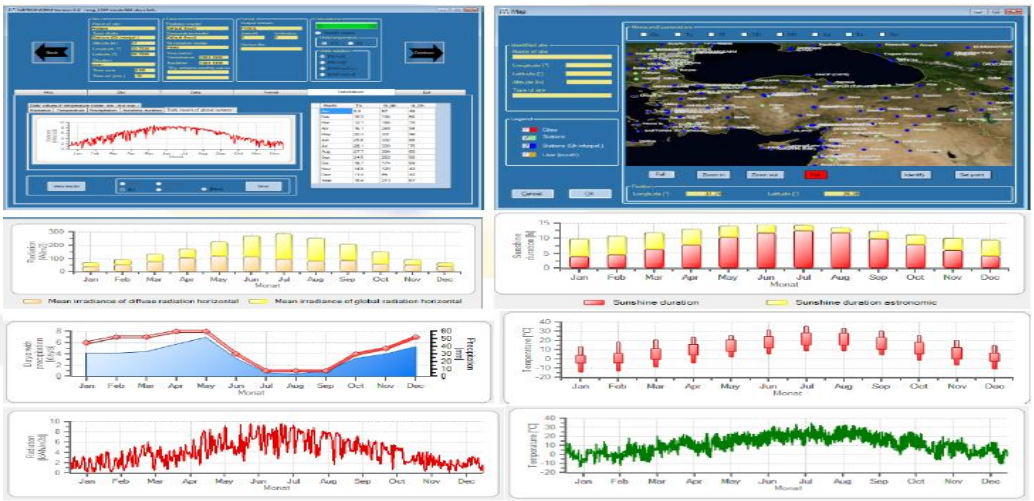
Güneş radyasyonu hesaplanırken mekan kaynaklı faktörlerin farklılığı hesaba katılmalıdır. Güneş radyasyonu modelleri mekanlara bağlı olarak coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) faydalanır. Güneş radyasyonunu doğru, hızlı ve verimli hesaplayabilmek için yamaç eğimi, yönü ve gölgelenme etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Radyasyon modellerinde CBS ve görüntü işleme sistemleri kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilir.

İlk CBS tabanlı güneş radyasyonu modellerinden biri olan SolarFlux (Dubayah ve Zengin 1995; Hedrick ve ark 1993) ARC / INFO CBS için geliştirildi. Benzer olarak AML komut kullanılarak, piyasada mevcut CBS ile Genasys güneş radyasyonu algoritmaların uygulanması yapılmıştır (Kumar ve ark, 1997). Bu modeller için oldukça basit ampirk formüller kullanılmıştır. SRAD modeli (Wilson ve Gallant, 2000; McKenney ve ark, 1999) yeryüzü ve atmosferi güneş enerjisinin kısa dalga ve uzun dalga etkileşimlerinin karmaşık bir dizisi olarak modellemek için tasarlanmıştır. Küçük ve orta ölçekli süreçlerin modellenmesi için tasarlanmıştır, geniş alanlar üzerinde etkili değildir.

Çıkan sonuç ve ilerlemeler sonucunda CBS tabanlı yeni bir model olan Avrupa Güneş Radyasyonu Atlası (ESRA, Scharmer and Greif, 2000) geliştirilmeye karar verildi. Bu model Hofierka (1997) tarafından yapılan daha önceki çalışmaları üzerine dayalı ve GRASS CBS açık kaynak kodlu bir ortam da hazırlanmıştır. Bu modelin özellikleri daha önce tartışılan diğer modellerin sorunlarını ortadan kaldırdı. Modelde kullanılan parametreler grubu, çeşitli uygulamalar için kullanılabilecek seviyede esnetildi. Aynı zamanda, açık kaynak kodlu uygulama olması, gelecekteki gelişmeler sonucunda modelin geliştirilebilmesine olanak sağlayacak. Uluslararası kullanılan bazı coğrafi bilgi sistemi tabanlı güneş ışınım modellerini inceleyecek olursak;

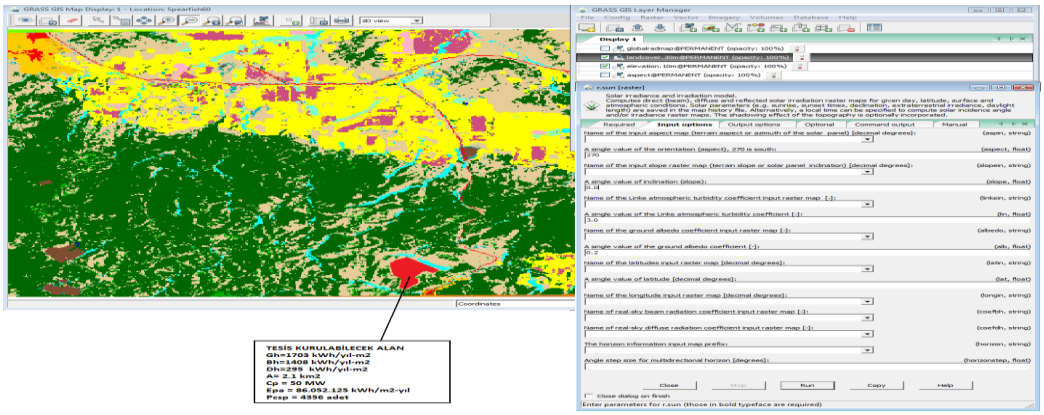
NASA Meteonorm: NASA tarafından geliştirilmiştir. Uydudan alınan atmosferik bilgiler kullanılarak küresel ve lokal bazda güneş radyasyon hesaplamaları yapılmaktadır. Kullandığı güneş radyasyon ve iklim verilerin uzun dönemli ve güncel olması en büyük avantajıdır. Fakat sadece NASA'nın hazırladığı 90 metre yükseklik ile sınırlı olması nedeniyle hassas çözünürlüklere inilememesi dezavantajıdır. 90 metre çözünürlük güneş uygulamaları hesabı için yeterli kabul edilmektedir. Ancak bina

çatısı vs. gibi çok küçük uygulamalar için elverişli değildir. Türkiye de 150 istasyon bulunmaktadır. Çok büyük ölçekli alanların güneş enerjisi potansiyellerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Örneğin, Avrupa Kıtasının veya Türkiye gibi ülkelerin tüm alanlarını içine alacak şekilde güneş enerji potansiyeli çok rahatlıkla yapılabilmektedir.



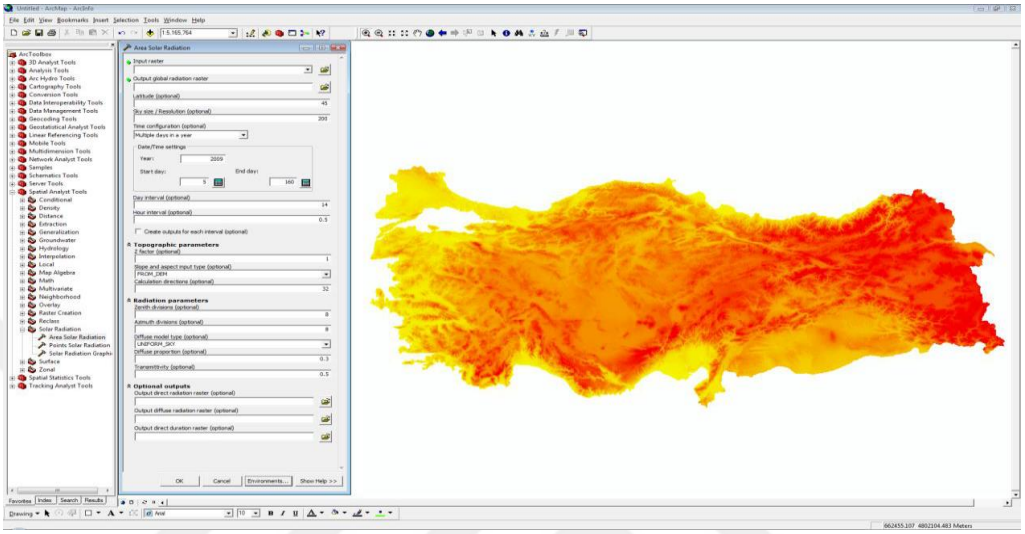
Şekil 3.20. NASA Meteonorm ekran görüntüsü

GRASS R.sun: Avrupa Birliği Yenilenebilir Enerji Komisyonu tarafında geliştirilmiştir. WinGRASS GIS yazılımı içerisindeki coğrafi verileri analiz ederek çalışan açık kaynak kodlu bir modeldir. Daha küçük alanların modellenmesinde kullanılmaktadır. Örneğin Türkiye, İl, İlçe ve Tesis alanları için kullanılabilir. Model içerisinde yatay, dikey ve yatay yüzeyler için direk, difüz, yansıtılan ve toplam güneş radyasyon değerleri saatlik hesaplamaktadır. Bu değerler ile günlük, aylık ve yıllık elektrik üretimi hesaplanabilmektedir. Ayrıca gölgelenme hesapları da yapılmaktadır. Lokal olarak saha seçimi ve fizibilite çalışmalarında kullanılması daha uygundur.



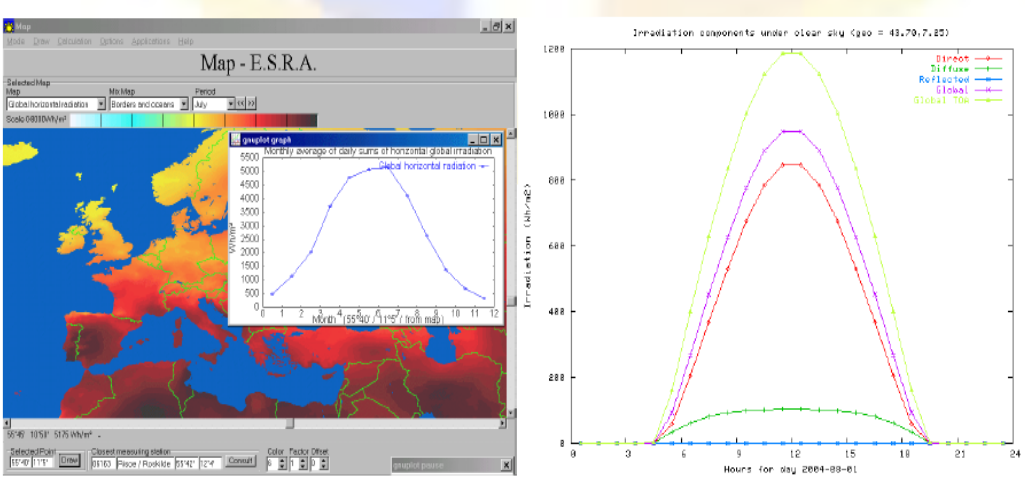
Şekil 3.21. GRASS R.sun ekran görüntüsü

ESRI Solar Analyst: ESRI firması tarafından geliştirilmiş olan güneş radyasyonu modellerindendir. Zamanla birçok parametre eklenerek bugünkü son halini almıştır. Tamamen coğrafi bilgi tabanlı bir modeldir. Geniş ölçekli alanlarda daha iyi sonuçlar vermektedir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) bu model kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.22. ESRI Solar Analyst ekran görüntüsü

E.S.R.A ve Saatlik Radyasyon Tahmini :E.S.R.A modeli, NASA'dan ve diğer meteorolojik servislerden alınan, saatlik meteorolojik güneş verilerinin ve 3 gün için saatlik tahmini güneş verilerinin sunulduğu ücretli bir servistir. Bu servisten alınan saatlik veriler ile 3 gün sonrası için elektrik üretimi tahmini yapılabilmektedir. Böylece yatırımcılar, üretilecek tahmini elektrik enerjisini bilerek, buna göre ileriye dönük elektrik pazarlama işlemlerini planlayabilmektedirler.

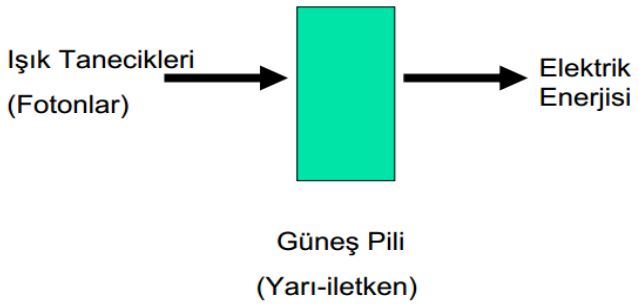


Şekil 3.23. E.S.R.A ve Saatlik Radyasyon Tahmini ekran görüntüsü

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Güneşten Elektrik Üretimi

Güneş tüm canlılar için en büyük olan enerji kaynağıdır. Fakat insanlar güneş enerjisini farklı yollarla da kullanmaktadır. Güneş geleneksel enerji kaynaklarının oluşumunda da güneş başlıca rol oynamaktadır. Güneşten elektrik üretimini güneş pilleri sayesinde olur. Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışınları (fotonlar) yardımıyla hiçbir hareketli parçaya gerek duymadan ve çevreyi kirletmeden güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren yarı iletken maddelerdir. Güneş pilleri fotovoltaik çalışma prensibine dayalı olarak çalışırlar. Güneş pilinin üzerine düşen ışınlar uç kısımlarda elektrik gerilimi meydana getirir. Üretilen enerjinin kaynağı güneş ışınıdır.



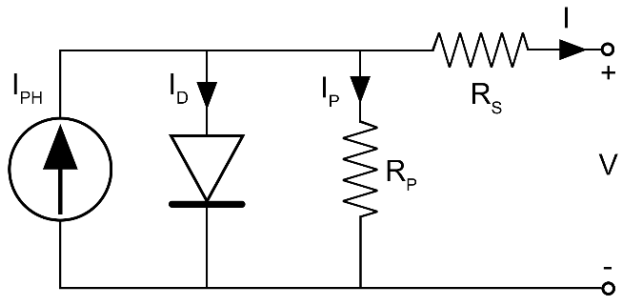
Şekil 4.1. Güneş Pili Çalışma İlkesi

Amorf silisyum, kristal silisyum ve galyum arsenik gibi birçok farklı yarı iletken maddeden yararlanılarak üretilen ve yapısına göre üzerine düşen güneş ışınını %5 ile %20 arasında verim ile elektrik enerjisine çevirebilmektedir. Çok sayıda güneş pilinin birbirine seri veya paralel bağlayarak güneş pili modülü ya da fotovoltaik panel adı verilen yapı oluşturulmaktadır. İstenilen güç talebine bağlı olarak, birbirine bağlanan güneş pili modül sayısı arttırılır.

4.1.1.Güneş Işınımından Elektrik Enerjisi Üretim Modellenmesi

Bir fotovoltaik hücrenin davranışlarının anlaşılabilmesi için, davranışları bilinen bileşenler kullanılarak elektriksel eşdeğer devresinin oluşturulması gerekmektedir. İdeal bir fotovoltaik hücre devresi aşağıdaki şekildeki gibi modellenir.

Şekildende görüldüğü gibi bir diyot ve paralel bağlı bir akım kaynağından oluşmaktadır. Akım kaynağı, güneş ışığı şiddeti ile doğrudan orantılı olan I_{PH}'yı oluşturur.



Şekil 4.2. PV hücrenin standart bir diyotlu eşdeğer devre modeli

Eşdeğer devrede gösterilen ifadelerin açıklamaları şöyledir.

I_{PH}: Güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımı

I_D: Diyot akımı

R_P: Paralel direnç

R_S: Seri direnç

I_P: Paralel direnç akımı

Fotovoltaik hücrenin basitleştirilmiş eşdeğer devrenin akım-gerilim (I-V) denklemi Kirchhoff'un akım kanunu ile bulunabilir.

$$I = I_{PH} - I_0[\exp((V + I * R_S) / (a * V_{TH}) -1] - (V + I * R_S)/ R_P \quad (4.1)$$

Denkleminde; I_{PH}: PV hücrenin fotovoltaik etki ile ürettiği akımı, I ve V: sırasıyla, fotovoltaik hücrenin çıkış akımını ve gerilimini, I_0: diyot ters doyum akımını, a: diyot idealite faktörünü, R_S ve R_P: sırasıyla, PV hücrenin seri ve paralel direncini göstermektedir. V_{TH}, hücrenin termal gerilimi olup (4.2) denklemi ile hesaplanır.

$$V_{TH} = (k * T_C) / q \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'de; k: Boltzmann sabitini (1.380×10^{-23} J/K), T_C: hücresıcaklığını (K) ve q: bir elektronun yükünü (1.602×10^{-19} C) ifade etmektedir.

4.1.2.Fotovoltaik Teknoloji Çeşitleri

Fotovoltaik paneller teknolojilerine göre 3'e ayrılır.

4.1.2.1. Kristal Paneller

Endüstride en yaygın kullanılan teknolojidir. İki farklı kristal yapıda fotovoltaik panel vardır.

Polikristal Paneller: Kalite ve verimlilik açısından poli kristal hücrelerden oluşmuştur. Kullanım alanı çok yaygındır. Kolay ulaşılabilir olması üretim süresini kısa tutar. Buna bağlı olarak polikristal paneller uygun fiyata bulunabilmektedir. Polikristal güneş pillerinin atomal yapısı homojen değildir.

Monokristal Paneller: Kalite ve verimlilik bakımından yüksek verime sahip mono kristal hücrelerden meydana gelmiştir. Monokristal paneller aynı güçteki polikristal panellere oranla %1 -%2 daha az alan kaplarlar. Polikristal panellerden daha verimlidir. Kullandığı teknoloji sebebiyle üretim aşaması uzundur. Uzun vadeli yatırımlar için monokristal paneller iyi bir seçenektir. Güneş pilinin mono kristal olması, tüm hücrenin yalnız bir kristalden meydana gelmesi ve atomal yapısının homojen olması anlamına gelmektedir. Doğadaki bütün kristaller polikristal yapıdadır, yalnız elmas monokristal özelliğe sahiptir.

4.1.2.2. İnce Film Paneller

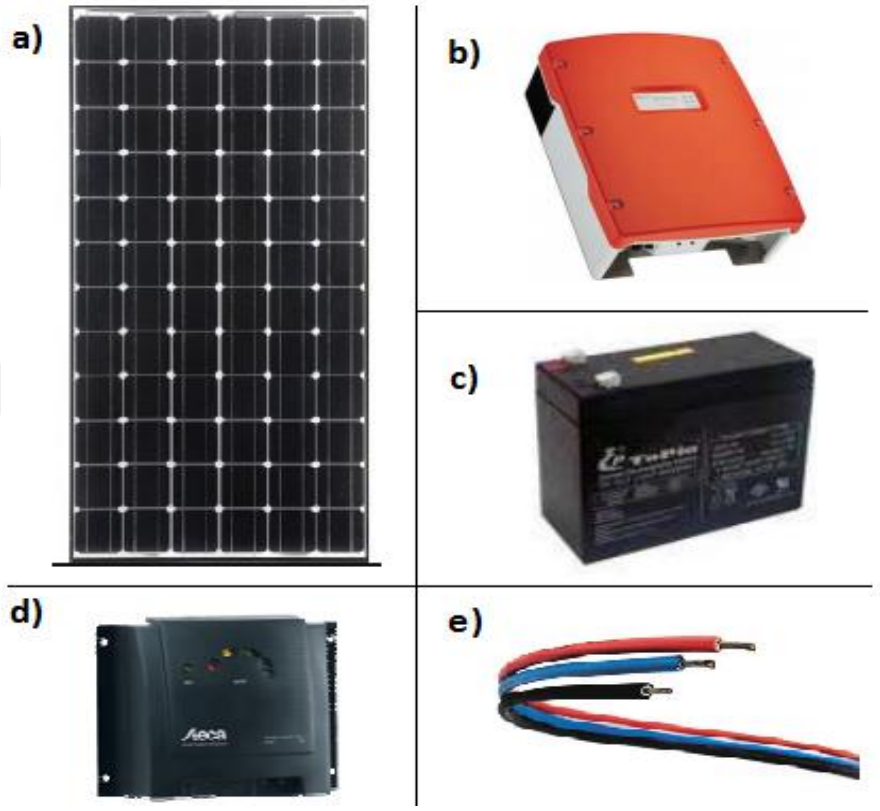
Işığı tutma oranı yüksek olan hücrelerden oluşur. Düşük verimlilikleri sebebiyle endüstriyel pazarda küçük bir paya sahiptir. İnce film paneller genellikle polikristal malzemeden üretilmektedir. İnce film paneller, yarıiletken malzeme büyüklüğünün milimetrenin binde biri ile milyonda biri arasında değişen damarlardan oluşur. Bu panellerin verimlilik oranı %7 - %14 arasındadır.

4.1.2.3. Esnek Paneller

Diğer güneş panellerine alternatif olarak üretilmiştir. Konstrüksiyon ihtiyacı yoktur. Bu yüzden çatı uygulamaları için tercih edilmektedir. Kristal ve ince film hücrelerden oluşur. Esnek paneller kristal yapılı güneş panellerine göre daha hafiftir. Cam malzeme içermediği için kırılma tehlikesi yoktur. Esnek panellerin en büyük avantajı taşınabilir olmasıdır.

4.1.3.Güneş Enerjisi Sistemi Elemanları

Güneş enerjisinden elektrik üretimi için temel olarak fotovoltaik panel, invertör (evirici), şarj regülatörü, akü, kablo, konstrüksiyon kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. a)Fotovoltaik Panel b) İnverter (Evirici) c) Akü d) Şarj Regülatörü e)Kablo

Fotovoltaik Panel: Güneşten gelen ışığı doğrudan elektirik enerjisine çeviren sistemin ana elemanıdır. Yarı iletken diyot gibi çalışan güneş pili, güneş ışığının g enerjiyi iç fotoelektrik tepkimelerinden faydalanarak elektriğe çevirir.

Şarj Regülatörü: Genellikle güneş enerjisinden üretilen gerilimi istenilen gerilim değerine düşürür. Fotovoltaik panelden çıkan akım değerini düzenleyerek aküye iletir. Genellikle şebekeden bağımsız sistemler (Off Grid) için kullanılır. Akünün tam

dolmasını ve boşalmasını engeller. Şarj regülatörü seçerken en önemli parametre verim değeridir. Seçilen şarj regülatörünün maksimum akıma dayanıklı olması ve kullanılacak batarya voltajı ile uyumlu olmasına dikkat edilmesi gerekir.

İnverter (Evirici): Fotovoltaik panellerin ürettiği doğru akımı (DA), alternatif akıma (AA) çeviren cihazlardır. Şebeke içi (On-Grid) ve şebeke dışı (Off-Grid) olarak ikiye ayırabiliriz.

Şebeke içi (On-Grid) inverterler, gelen doğru akımı (DA) alternatif akıma (AA) çevirerek şebekeye veren inverterlerdir.

Şebeke dışı (Off-Grid) inverterlerin çalışması fotovoltaik panelden gelen doğru akım (DA) ile aküler şarj edilir. Akülerden çıkan doğru akım (DA) inverter sayesinde alternatif akıma (AA) dönüştürülür. Bu sayede üretilen enerji evlerde kullanılacak şekilde 220V-50 Hz değerlerine dönüştürülür.

Akü: Üretilen elektrik enerjisini depolamaya yarayan malzemedir. Elektrik enerjisini kimyasal olarak depo eder ve istenildiği zaman bu kimyasal enerjiyi tekrar elektrik enerjisi olarak veren cihazlardır. Güneş enerji sistemlerinde genel olarak, kuru akü, jel akü ve OPzS akülerdir. Ancak en çok kuru tip aküler kullanılmaktadır. Akü kapasiteleri amper saat (Ah) olarak ifade edilir. Verimleri % 90'lar seviyesindedir. Ömürlerini uzun tutmak için %50'nin altında iken şarj etmek gerekir.

Kablo: Fotovoltaik panel, inverter, akü ve regülatör arasındaki bağlantıyı sağlar. Sistem tasarımında doğru kablo seçimi oldukça önemlidir. Özellikle sistemin doğru akım kısmında dikkat edilmesi gereken ana faktörlerden biridir. Dikkat edilmediği takdirde oluşacak zararın maliyeti yüksek olabilmektedir.

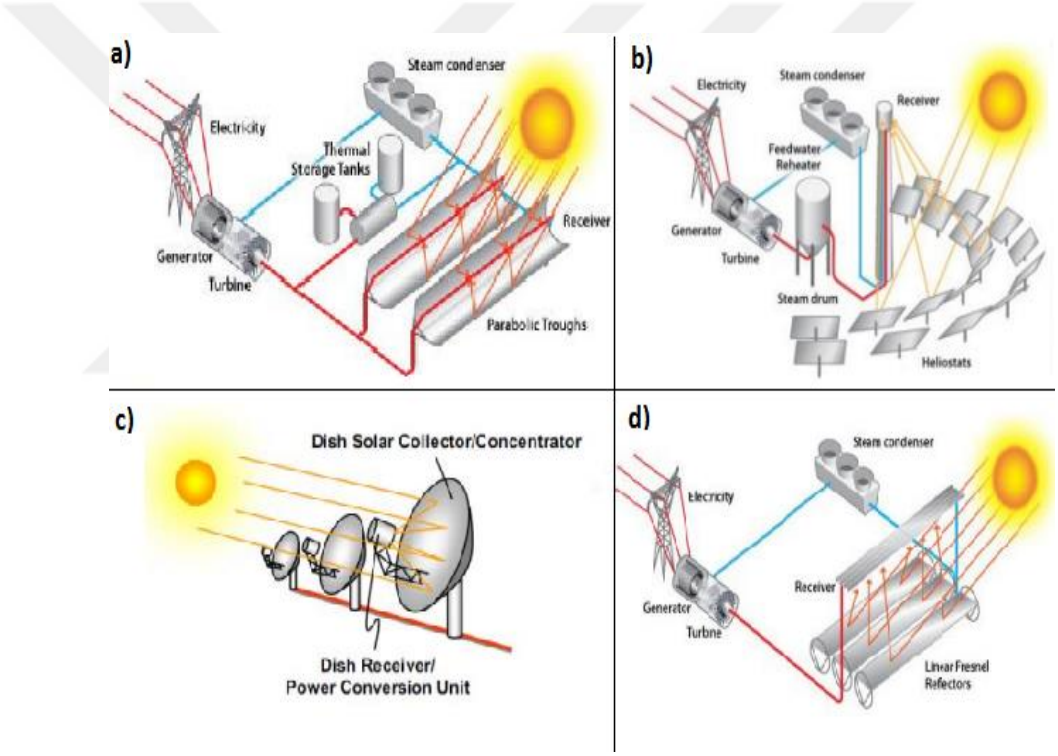
Konstrüksiyon: Konstrüksiyon güneş enerjisi santrali içerisinde panelleri güneşten maksimum enerji alacak şekilde belirli bir açıda panellerin yönünü belirleyen ve panel taşıyıcı olarak görev yapan metal sistemdir. Konstrüksiyon, saha veya çatı uygulamasına göre fiyat-maliyet açısından çelik ya da alüminyum olarak tasarlanmaktadır. Bunun haricinde güneşten daha çok enerji almak için güneş takip sistemi yapabilen içerisinde özel hareket sistemi bulunduran konstrüksiyon sistemleri mevcuttur.

4.1.4.Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan teknolojiler "Isıl Teknolojiler" ve "Fotovoltaik Teknolojiler"'dir.

4.1.4.1. Isıl Teknolojiler

Isıl teknolojiler CSP teknolojileri olarak da adlandırılmaktadır. CSP santraller aynaları değişik şekillerde konumlandırıp, güneşten gelen ışınlardan faydalanarak yüksek sıcaklıklı ısıya dönüştürüp elektrik enerjisini üretir. CSP santraller iki kısımdan oluşur. Birincisi güneş ışınlarını toplar ve ısıya dönüştürür. İkinci parça ısıyı elektrik enerjisine dönüştürür.



Şekil 4.4. a)Parabolik Açılı b) Güneş Kuleleri c)Parabolik Çanaklar d) Yere Döşenmiş Aynalar

Parabolik Açılı Aynalar: Güneş enerjisi parabolik oluk biçimindeki ayna ile bir alıcı boru üzerine odaklanır. Boru içerisindeki akan sıvı ısınır ve buhar generatör de elektrik üretilir. 30^o – 150^o arasında açı ile tek eksende güneşi takip eden ısıl sistemlerdir. Isıl sistemlerde elektrik enerjisi üretimi için kullanılan en yaygın sistemdir.

Güneş Kuleleri: Sitemin merkezinde bir güç kulesi bulunmaktadır. Güneş ışınımı birçok büyük ölçekli ayna kullanılarak güç kulesindeki bir güneş ışını toplayıcısına

odaklanır. Toplayıcı içerisinden geçen su yüksek derecelerde ısıtılarak buhar oluşturur ve generatör ile elektrik enerjisi üretilir. Kule yüksekliği sistemin büyüklüğüne göre 50- 150 metre arasında değişmektedir. Aynalar güneşi iki eksende de takip edebilmektedir.

Parabolik Çanaklar: Çanak şeklindeki aynalara güneş ışınları odaklanır. Merkezde odaklanan ısı doğrudan alıcı çanak üzerinde bulunan ısı motoru ile elektrik enerjisi üretir. Parabolik çanaklar güneşi takip edebilmektedir.

Yere Döşenmiş Aynalar: Çalışma prensibi parabolik açılı aynalara benzemektedir. Bu tür sistemlerde aynalar yere yakın yatay bir şekilde monte edilir. Çok fazla tercih edilen bir sistem değildir.

4.1.4.2. Fotovoltaik Teknolojiler

Güneş hücrelerine gelen güneş ışınlarından elde edilen elektrik enerjisinin doğru akımlı veya alternatif akımlı elektrik enerjisine çeşitli inverterler yardımıyla çeviren sistemlerdir. Fotovoltaik teknolojiler, çatı uygulamaları, bahçe uygulamaları, aydınlatma uygulamaları, şebeke bağlantılı uygulamalar gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Fotovoltaik teknolojiler iki ana gruba ayrılarak incelenebilir. Bunlar;

- Şebeke bağlantısız (Off-Grid) sistemler
- Şebeke bağlantılı (On-Grid) sistemler

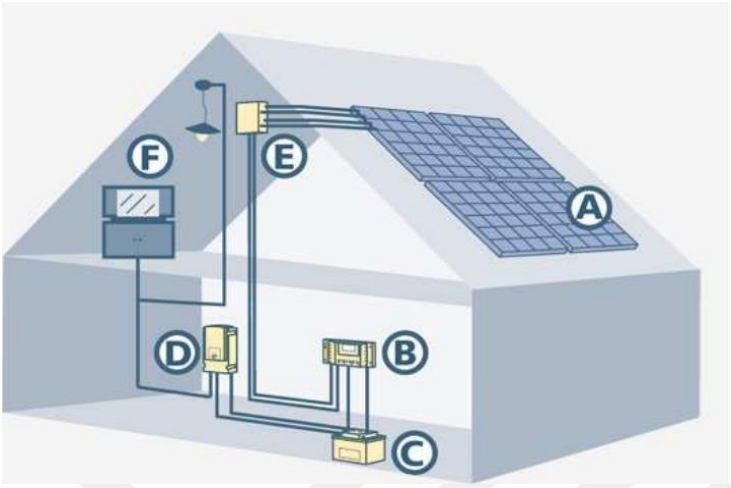
olarak gruplandırılır.

4.1.4.2.1 Şebeke Bağlantısız (Off-Grid) Sistemler

Bu sistemler genellikle şebeke bağlantısının olmadığı yerlerde kullanılmaktadır. Şebeke bağlantısız sistemlerde üretilen elektrik enerjisi akülerde depolanmaktadır. Depo edilen elektrik enerjisi inverterler aracılığı ile şebeke gerilimine dönüştürülerek enerjiyi kullanıma sunmaktadır.

Fotovoltaik paneller vasıtasıyla güneş ışınlarından doğru akım elektrik enerjisi üretilir ve regülatör aracılığı ile üretilen enerji akülere şarj edilir. Depo edilen elektrik enerjisi inverter yardımıyla şebeke elektriğiyle aynı özellikte alternatif akım elektrik

enerjisine çevrilir. Böylece gündüz üretilen elektrik enerjisi günün istenen zamanında kullanılabilir.



A. Panel

B. Solar Şarj Kontrol

C. Akü

D. Sinüs Dalga İnvertör

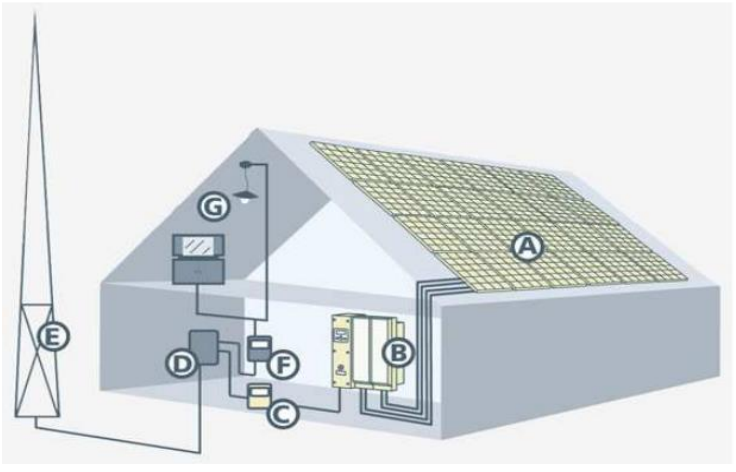
E. Bağlantı Kutusu

F. Cihazlar

Şekil 4.5. Şebeke bağlantısız (Off-Grid) sistemler

4.1.4.2.2 Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Sistemler

Şebeke bağlantılı sistemler üretilen elektrik enerjisini depolamaya gerek duymadan şebekeye aktarımı sağlayan sistemlerdir. Çift yönlü sayaç kullanarak üretilen fazla enerjiyi şebekeye satma, ürettiğimiz enerjiden fazlasına ihtiyaç duyduğumuzda ise şebekeden satın alma mantığı ile çalışır. Bu sayede depolamaya ve dolayısıyla akü grubuna ihtiyaç duyulmaz.



A. Panel

B. İnvertör

C. Şebekeye Satış Sayacı

D. Ev Panosu

E. Şebeke

F. Şebekeden eve alınan Elektrik Sayacı

G. Cihazlar

Şekil 4.6. Şebeke bağlantılı (On-Grid) sistemler

Paneller vasıtasıyla üretilen doğru akımlı elektrik enerjisi inverter yardımı ile şebeke elektriği ile aynı özellikte alternatif enerjiye dönüştürülür. Üretilen enerji doğrudan sayaçtan geçerek şebekeye verilir. Yasal düzenlemeler gereği şebekeye verilen enerji kadar bir gelir elde edilir.

4.2. Güneş Enerji Santrali Fizibilite Yazılımları

Yenilenebilir enerji sektöründeki gelişmeler ve desteklerden dolayı araştırmacıların ve yatırımcıların alana olan ilgisi arttırmıştır. Güneş enerji santrali kurulmadan önce bir ön çalışma yapılması gerekmektedir. Ön çalışmanın yapılması hesaplamalar, meteorolojik verilerin toplanması arazinin tespiti gibi işlemler uzun ve masraflı olabilmektedir. Bunun yerine bilimsel olarak kabul görmüş yöntemler kullanılarak kodlanmış bilgisayar yazılımları ön çalışma için kullanılmaktadır. PVSOL Expert, PVSyst, BlueSol Design, Trnsys gibi yabancı menşeili güneş enerji santrali fizibilite hesap programları bulunmaktadır.

PVSOL Expert: Güneş enerjisi santral dizaynı, maliyeti hesapları, bakım ve işletim analizlerini yapabilen bir bilgisayar uygulamasıdır. Yazılım 2 boyutlu ve 3 boyutlu sistem simülasyonu yapma olanağı sunmaktadır. Güncel malzeme ve meteorolojik veri tabanı ile yıllık verimlilik ve fizibilite raporu oluşturabilmektedir.

PVSyst: Güneş enerjisi üzerinde çalışan mühendisler, mimarlar, araştırmacılar ve yatırımcılar tarafından kullanılmak üzere tasarlanmış. Gerçek verilere yakın değerler ile yıllık enerji üretimini hesaplayabilen bir yazılımdır. PVSyst rapor sonuçlarını grafik ve tablolar üzerinden kullanıcıya bilgileri sunar.

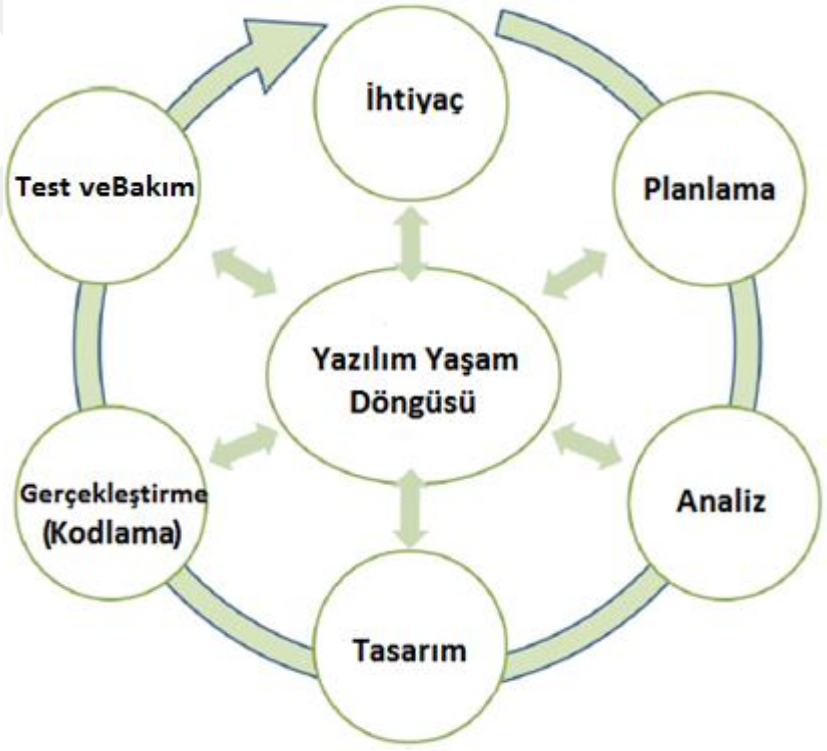
BlueSol Design: Fotovoltaik sistemlerin tasarımı için basit ve kapsamlı bir uygulamadır. BlueSol Design ile fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılması 3 boyutlu olarak yapılabilmektedir. Yıllık enerji üretimi ve kayıpları hesaplayıp detaylı bir sistem raporu sunmaktadır. Microsoft ara yüz desteği ile kolay kullanıma sahiptir.

Trnsys: Trnsys bir enerji analizi programıdır. Program NASA ve Amerikan ordusu tarafından da bir dönem kullanılmıştır. Program açık kaynak kodlu olmasından dolayı akademik anlamda en çok kullanılan yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği modelleme yazılımı olmuştur.

4.3. GES Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü

Bir yazılım projesinin planlama aşamasından başlayarak kullanıcıya teslim aşamasına kadar geçirmiş olduğu tüm aşamalara ve bu aşamaların oluşturduğu döngüye yazılım yaşam döngüsü denir. Bir yazılım projesi sadece kodlama aşamasından ibaret değildir. Yazılım uygulaması geliştirilirken şu aşamalar yer almalıdır;

- Planlama
- Analiz
- Tasarım
- Gerçekleştirme
- Test ve Bakım



Şekil 4.7. Yazılım Yaşam Döngüsü

Bu aşamalar bir kez gerçekleştirildiği vakit proje tam olarak gerçekleşmeyebilir. Bu sebeple tüm süreçler bir döngü şeklinde gerçekleşmesi gerekir. Proje tamamlandıktan sonra oluşacak olan istekler, hata düzeltmeleri veya projeye dahil

edilecek yeni modüller gibi süreçler devam edeceği için yazılım yaşam döngüsünün oluşturulması gerekir.

Güneş radyasyonu modellemesi ve elektrik santrali fizibilite uygulamasının ortaya çıkışı, güneş enerji santrallerinin amortisman süresinin hesaplanması, üretilecek enerji miktarının hesaplanması, yapılacak bir yatırımın karlı olup olmadığını analiz edebilecek Türkçe bir uygulamaya ihtiyaç olmasıdır.

4.3.1. Planlama

Yazılım yaşam döngüsü planlama süreci ile başlar. Temel ihtiyaçların belirlendiği ve proje planının gerçekleştirildiği süreçtir. Bir projenin planlaması yapılacağı zaman, projenin tüm gereksinimleri temel hatlarıyla belirlenmesi gerekmektedir.

- Projeyi tanıtan proje bilgilerinin girilmesi
- Google Maps üzerinden proje sahasının belirlenmesi
- İnternet bağlantısının olmadığı durumlar için manuel olarak proje sahasının seçilmesi.
- Meteorolojik veriler için veritabanı kaydının oluşturulması.
- Hesaplama yöntemlerinin matematiksel modelinin oluşturulması.
- Güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, gün uzunluğu, ortalama radyasyon gibi değerlerin hesaplanması.
- Kurulacak sistemin toplam kurulu gücünün ve panel dizilim açısının belirlenmesi.
- Güneş enerjisi üretmek için gerekli sistem cihazlarının veri tabanının oluşturulması.
- Sistemde kullanılan fotovoltaik panellerin seçilmesi ve katalog bilgilerinin gösterilmesi.
- Sistemde kullanılacak inverterleri seçme ve katalog bilgilerinin gösterilmesi.
- Projenin maliyet analizini hesaplama.
- Yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresinin hesaplanması ve karlılık analizini hesaplama.

Projenin tüm gereksinimleri belirlendikten sonra proje geliştirme ortamının planlaması gerekmektedir. Bu kapsamda;

- Proje C# programlama dili kullanılarak yazılacaktır. Bu proje Windows (masaüstü) uygulaması olarak geliştirilecektir.
- Yazılım geliştirme ortamı olarak MS Visual Studio Professional 2010 tümleşik geliştirme ortamı seçilmiştir.
- Proje bilgileri MS SQL Server Management Studio veri tabanı sunucusu aracılığı ile saklanacaktır.

4.3.2.Analiz

Yazılım yaşam döngüsündeki önemli adımlardan biride analiz aşamasıdır. Analiz aşamasında projenin tüm gereksinimleri detaylı olarak belirlenir. Bu aşamada amaç sistemin işleyişini ve gereksinimlerini kesin ve açık olarak belgelemektir. Analiz aşamasında müşteri, yazılım mühendisi, proje alanında uzman olan kişiler bir araya gelerek analiz ekibini oluştururlar. Proje planlaması yukarıda belirtildiği gibi yapıldıktan sonra proje analiz ekibi ile detaylandırılır.

Proje 8 bölümden oluşmaktadır.

- Yeni proje oluşturma işlemleri
- Proje sahasını belirleme işlemleri
- Veritabanı işlemleri
- Güneş radyasyonu matematiksel modeli işlemleri
- Sistem tasarım işlemleri
- Maliyet analizi işlemleri
- Simülasyon ve sonuç raporu işlemleri
- Projeyi lisanslama

Yeni proje oluşturma işlemleri: Yeni oluşturulacak projeyi tanımlayan proje adı, şirket bilgileri, tasarımcı bilgileri, proje tarihi gibi bilgileri kaydeder.

Proje sahasını belirleme işlemleri: Güneş enerji santralinin kurulması düşünülen sahanın belirlenmesi işlemlerini kapsar. İki farklı şekilde arazi seçimi yapılmaktadır.

- İnternet bağlantısının bulunduğu yerlerde Google Maps kullanılarak proje sahasının belirlenmesi
- İnternet bağlantısının olmadığı yerlerde manuel olarakproje sahasının belirlenmesi.

Veritabanı işlemleri: Proje için gerekli olan sistem elemanlarının ve meteorolojik verilerin veri tabanı üzerinde saklanması işlemlerini kapsar.

- Meteonormdan ve üniversitelerden alınan meteorolojik verilerin kaydedilmesini sağlar.
- Fotovoltaik panel ve inverter katalog bilgilerini bulundurur.

Güneş radyasyonu matematiksel modeli işlemleri: Meteorolojik veriler (sıcaklık, gün uzunluğu, yağış vb.), coğrafik bilgiler (koordinat, yükselti vb.) değerleri kullanılarak hesaplanan ve bilimsel olarak kabul matematiksel güneş radyasyonu modellerini içerir.

Sistem tasarımı işlemleri: Kurulacak olan güneş santralinin projelendirme aşamasını oluşturur.

- İstenilen güç veya mevcut proje sahasının girilmesi
- Veritabanı üzerinden fotovoltaik panellerin seçilmesi
- Veritabanı üzerinden inverter bilgilerinin seçilmesi
- Sistem için gerekli olan panel-inverter sayılarının hesaplanması
- Üretilen enerji ve güç kayıplarının hesaplanması

Maliyet analizi işlemleri: İstenilen güçteki güneş enerji santralinin kurulum maliyetinin hesaplanması işlemidir. Kullanıcı isterse manuel olarak sistem bileşenlerinin birim fiyatlarını değiştirip maliyet hesabı yapabilmektedir.

Simülasyon ve sonuç raporu işlemleri: Sistemin bulunduğu konuma ve uygulamasına bağlı olarak 20 yıllık enerji üretimini hesaplar. Grafik ve tablolar ile kullanıcıya sunar. Yıllık toplam enerji üretimini, güneş ışınımını, kullanılan ekipman bilgisini vb. raporlar. Fizibilite raporu oluşturur.

Projeyi lisanslama: Programı korsan kullanımlara kapatmak için lisanslama işlemlerini kapsar.

4.3.3. Tasarım

Analiz aşaması sonucunda ortaya çıkan detaylı gereksinimler ışığında proje bileşenlere ayrılır ve yapılacak işlemler tasarlanmaya başlanır. Proje planı gibi tasarım dokümanı oluşturulmalıdır. Tasarım dokümanı oluşturmaktaki amaç; proje programcı veya yazılımcı tarafından geliştirilirken referans alacağı teknik bir kaynak ve projeye sonradan dahil olacak olan programcı ve yazılımcıların anlayabileceği açık ve anlaşılabilir olması gerekmektedir.

Yazılım ürünlerinde tasarım, müşterinin ihtiyaçları ve isteklerini karşılamak üzere program yeteneklerinin ve ara yüzlerinin belirlenmesidir.

Yapılacak işlemler detaylandırıldıktan sonra fonksiyonlar, ekran görüntüleri, işlem listeleri oluşturulur ve bu işlemlerin ne kadar süre içerisinde yapılacağı planlanır. Proje gereksinimlerinden elde edilen işlemler doğrultusunda proje iş akış diyagramı oluşturulur.

Güneş enerji santrali fizibilite yazılımının tasarım aşaması şöyledir. Meteorolojik bilgiler için veritabanının oluşturulması, sistem ekipmanları için veritabanının oluşturulması, proje başlangıç ekranı, proje oluşturma ekranı, konum belirleme ekranı, modelleme ekranı, ürün seçme ekranı, enerji analizi ekranı, maliyet ekranı, raporlama ekranı, yardım ekranı, veritabanındaki ürünleri güncelleme ekranı şeklindedir.

4.3.4. Gerçekleştirme

Tasarım aşaması tamamlandıktan sonra oluşturulan proje iş akış diyagramı baz alınarak proje kodlaması, ara yüz oluşturulması ve fonksiyonel testlerin yapılması gerçekleştirilir. Proje de ürün adına gözle görülür olan kısmı oluşturur. Kodlamaların ve iş mantık kurallarının uygulanması bu aşamada gerçekleştirilir.

4.2.5. Test ve Bakım

Kaliteli yazılımlar, kabul edilebilir düzeyde hatasız, planlanan bütçe ile zamanında bitirilip dağıtılabilen, gereksinimleri ve beklentileri karşılayabilen ve

sürdürülebilir özelliklere sahip yazılımlardır. Geliştirilen yazılımlarda, kaynağı ve sebebi değişmekle birlikte çeşitli hataların olması kaçınılmazdır. Çalışılan uygulama alanının kritikliğine göre bu hataların doğuracağı sonuçların biçimi değişebilmektedir. Uygulamanın türüne bağlı olarak yazılım testleri,

- Müşteriye sunulmadan önce ürün kalitesinden emin olmak,
- Yeniden çalışma, düzeltme ve geliştirme masraflarını azaltmak,
- Geliştirme işleminin erken aşamalarında yanlışları saptayarak ileri aşamalara yayılmasını önlemek, böylece zaman ve maliyetten tasarruf sağlamak,
- Müşteri memnuniyetini arttırmak ve izleyen siparişler için zemin hazırlamak,

amaçları doğrultusunda da yapılmaktadır. Test hazırlık sürecinde yapılması gereken birtakım standart işlemler şu şekilde sıralanır:

- Öncelikle test edilecek yazılıma ait analiz ve teknik tasarım aşamaları ile ilgili dökümanlar, test ekibi tarafından incelenir.
- Yazılım içinde test edilecek ve edilmeyecek modüller belirlenir.
- Risk analizi yapılır ve yapılan değerlendirmeye göre dinamik test aşamasında uygulanacak olan test teknikleri ve metodları belirlenir.
- Dinamik testin uygulanacağı ortamlar ve bu ortamların ihtiyaçları belirlenip, uygun şartlar sağlanır.
- Test ekibi içinde görev paylaşımı ve zaman planlaması yapılır.
- Testin sonlandırma kriterleri belirlenir.
- Bir programa belirli girdiler (input) verildiğinde hangi çıkışların (output) ne şekilde alınması gerektiğini bildiren test case senoryaları belirlenir.
- Dinamik testin hangi adımlarla ve ne şekilde uygulanacağının belirtildiği test planı hazırlanır.

Test hazırlık sürecine ait aşamalar gerçeklendikten sonra dinamik yazılım testi aşamalarına geçilir. Bu süreç kodlama çalışmalarının bitmesine yakın bir dönemde başlar. Bulunan tüm hatalar çözülmeden ve testin sonlandırma kriterleri sağlanmadan sona ermez. Test edilecek yazılımın türüne göre, dinamik olarak uygulanacak test teknikleri ve bu tekniklerin uygulanma metotları farklılık gösterebilir. Genel olarak dinamik test süreci içinde ve sonrasında uygulanabilecek olan testler ve test teknikleri şu şekilde sıralanır;

- Birim Testi (Unit Testing)
- Tümleyim Testi (Integration Testing)
- Regresyon Testi (Regression Testing)
- Zorlanım – Performans Testi (Performance Testing)
- Kullanıcı Kabul Testi (User Acceptance Testing)
- Beyaz Kutu Test Tekniği (White Box Testing Technic)
- Kara Kutu Test Tekniği (Black Box Testing Technic)

Yapılan testler sonucunda bulunan hatalar düzeltildikten sonra test sonlandırma kriterleri kontrol edilir. Eğer tüm kriterlerin kabul edilebilir düzeyde sağlandığı tespit edilirse test sonlandırılır. Testin sonlandırılmasının ardından uygulama müşteri testine açılır. Müşterilerin bulduğu hatalar gözden geçirilerek tekrar test ekibinin kontrolüne sunulur. Bu kontrolden çıkan uygulama ürün aşamasına geçer.

Proje testleri bitirilip yayına hazırlandıktan sonra olabilecek muhtemel hataların düzeltilmesi, projenin iyileştirilmesi ve yeni işlemlerin eklendiği süreci kapsar. Bakım sürecindeki proje kullanıcılar tarafından gelen bilgiler ve istekler doğrultusunda yazılım düzenlenir.

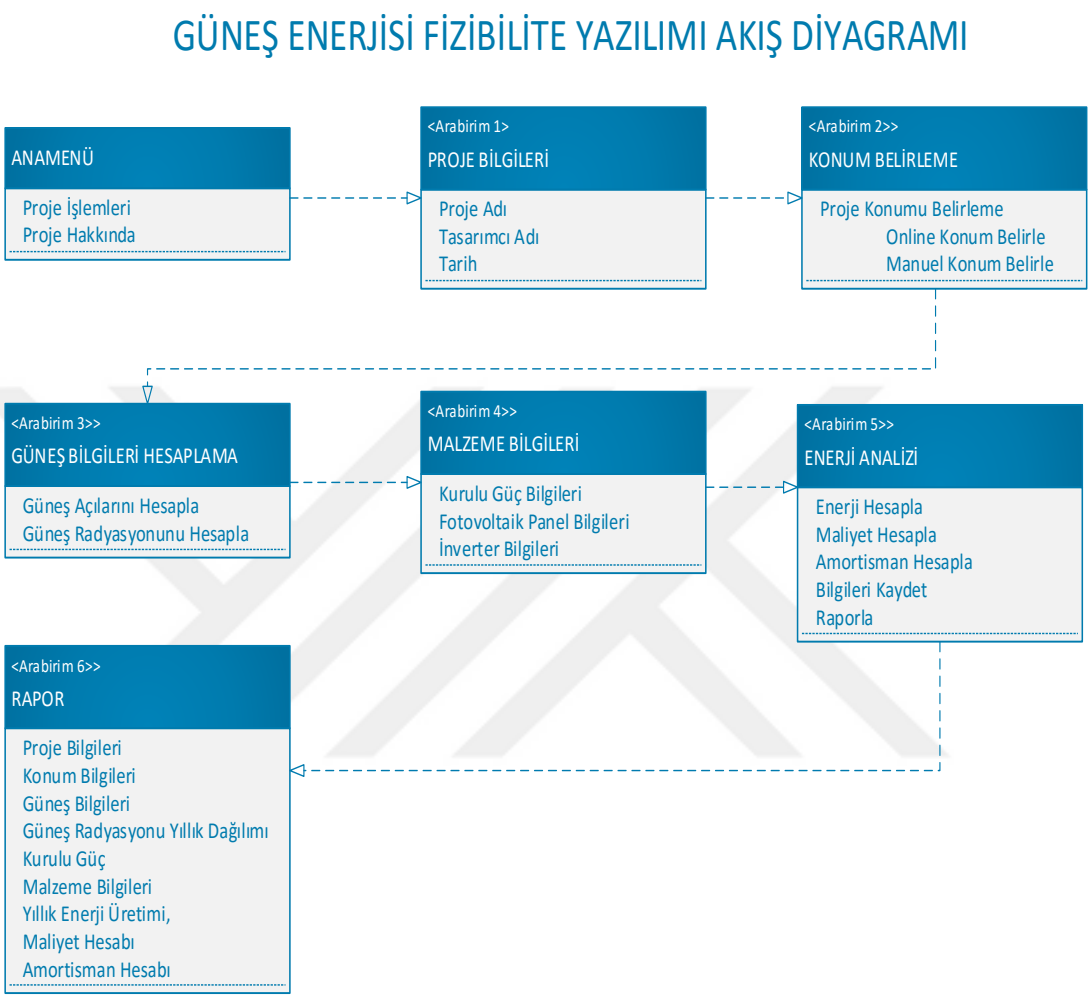
Proje teslimi ile birlikte bakım aşaması başlamış olur. Yazılımdan kaynaklı hatalar, programın yetersiz kalması veya projeye yeni işlemlerin eklenmesi gibi değişik talepler ortaya çıkabilir. Bakım aşamasında gelen talepler için yazılım yaşam döngüsü talepler doğrultusunda başa döner. Bu durumda Planlama - Analiz – Tasarım – Gerçekleştirme – Test ve Bakım süreçleri tekrar eder.

Yazılım yaşam döngüsü genel hatlarıyla böyle bir döngü içindedir. Güneş enerji santrali fizibilite programı bakım aşamasında iken kullanıcılar tarafından gelen istekler doğrultusunda veya yeni teknolojik gelişmeler sonucunda yeni işlevler ve düzenlemeler eklenebilir. Talebe bağlı olarak ara yüz ile ilgili yeni tasarımlar düşünülebilir.

4.4 Güneş Enerji Santrali Fizibilite Yazılımı Tasarımı

Güneş enerjisi üzerinde çalışma yapan mühendisler, araştırmacılar ve yatırımcılar kurulacak olan güneş enerji santralinin verimliliği ve karlılığını bilerek işlem yapmak isterler. Bu işlemleri daha kolay ve kısa sürede yapabilmek için bir

yazılım uygulamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Önceki bölümde bir yazılımın oluşturma basamaklarından bahsedilmişti. Bizde bu yazılım yaşam döngüsü içindeki aşamaları göz önünde bulundurarak bir güneş enerji santrali fizibilite yazılımı tasarlayacağız.



Şekil 4.8. Güneş Enerjisi Fizibilite Yazılımı Akış Diyagramı

4.4.1.Veritabanı Tasarım

Uygulama içerisinde kullanmak için topladığımız meteorolojik bilgiler ve sistem kurulumunda gerekli malzemelerin bilgilerinin tutulduğu bir veri tabanı tasarımı oluşturulacaktır.

Veri tabanı tasarımı için MS SQL Server Management Studio kullanılacaktır. Projemiz için "SolarRadiation" olarak adlandırdığımız bir veri tabanı oluşturuldu. Veri tabanı oluşturulduktan sonra uygulamamız için topladığımız veri gruplarına uygun

tablolar oluşturuldu. SolarRadiation veri tabanımıza meteorolojik verileri saklamamız için “SolarTime” ve “Koordinat” isminde iki tablo oluşturuldu. Burada sıcaklık, gün uzunluğu, enlem, gibi verilerin tutulduğu birbiriyle bağlantılı tablolar oluşturuldu.

Güneş santrallerinde kullanılacak malzemelerin saklandığı “İnverter” ve “PV” isminde tablolar oluşturuldu. Bu tablolarda kullanılacak olan ürünlerin detaylı karakteristik özelliklerine ve katalog bilgilerine yer verilmiştir. Bunun dışında veri tabanında “Rapor” isminde bir tablo oluşturuldu. Bu tablo program çıktısı olan rapor bilgilerinin tutulduğu alandır. Rapor tablosu sayesinde daha önceden yapılmış olan çalışmalara erişim sağlanır ve gösterimi gerçekleştirilebilir.

Sonraki aşamalarda sistem malzemelerinde gerçekleşecek güncellemeler, değişimler ve meteorolojik olarak değişen durumlar için veri tabanı güncelleme, ekleme ve silme işlemleri hiçbir sorun oluşturulmadan yapılabilmektedir. Bu sayede veri tabanı sürekli güncel ve doğru bilgiler içerecektir.

4.4.2.Ekran Tasarımları

Ekran tasarımı kullanıcı ile bilgisayar arasındaki iletişim ve etkileşim görevini üstlenen kısımdır. Ekran tasarımı ara yüz tasarımı olarak da adlandırılır.

Program ekranında oluşacak karmaşa kullanıcının programı kullanamamasına yol açabilir. Ekran tasarımı kullanıcı ile program arasında direk etkileşim sağladığı için kullanıcının anlayacağı şekilde, zorlanmadan kullanabileceği bir formda ve sade olması fayda sağlayacaktır. Ara yüz tasarlanırken özellikle kullanıcı istekleri göz önünde bulundurularak tasarımın yapılması gerekmektedir.

4.4.2.1. Programın Açılması

Programımızı çalıştırdığımız da ilk karşımıza yükleme ekranı çıkmaktadır. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra program kullanılabilir bir şekilde kullanıcı hizmetine açılmaktadır.



Şekil 4.9. Programın açılış ekranı

Program yüklendikten sonra aşağıdaki gibi ana ekran görünmektedir. Ana menü aracılığı ile kullanıcı istediği bölgeye ait hesaplamaları yapabilecek veri tabanı işlemlerine erişim sağlayabilecek ve sisteme ait rapor oluşturabilecektir.

Ana ekran sade ve anlaşılır tasarımı ile yeni proje açma ve proje yükleme işlemi kolaylıkla yapmamıza olanak sağlar. Seçenekler panelinden yapılacak işlem seçildiğinde, seçilen işlemin neler yapabileceği hakkında açıklama panelindeki bilgiler ile kullanıcıya program kullanımı için yön verilir.



Şekil 4.10. Programın ana menü ekranı

4.4.2.2. Yeni Proje Açma

Ana menüde yeni proje oluştur seçeneğini seçip onay tuşuna bastıktan sonra yeni proje ekranı açılmaktadır. Projemizi tanıtacak bilgileri ekrandaki uygun yerler doldurularak tamamlanır. Bilgilerin doldurulacağı alanlar boş geçildiği takdirde program uyarı verip boş olan yerlerin doldurulmasını isteyecektir.



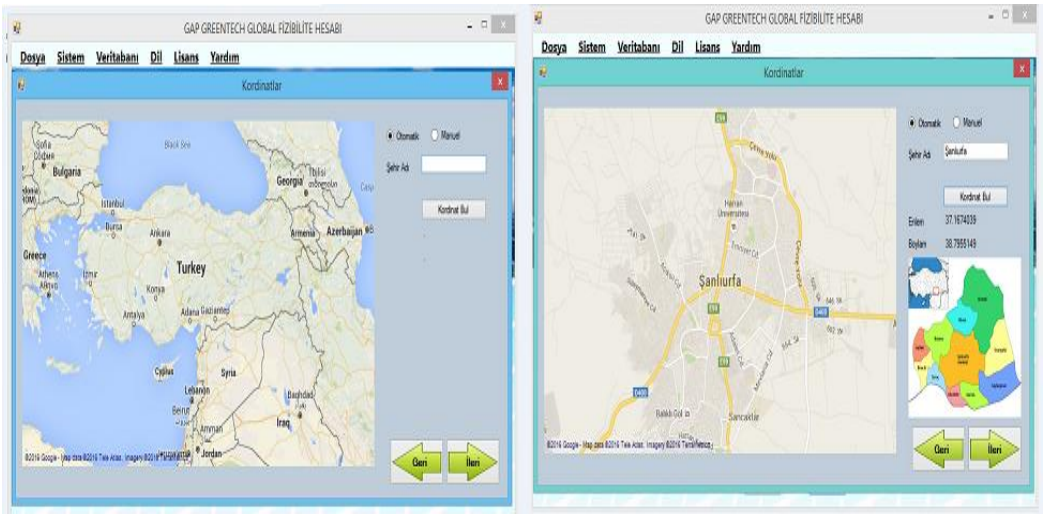
Şekil 4.11. Yeni proje açma ekranı

4.4.2.3. Konum Belirleme

Proje bilgilerimizi girip onayladıktan sonra güneş enerji santrali proje sahasını belirlememiz gerekmektedir. Seçim için kullanıcı üç farklı yol izleyebilir. Bu seçimlerden ikisi için internet bağlantısının olması gerekmektedir.

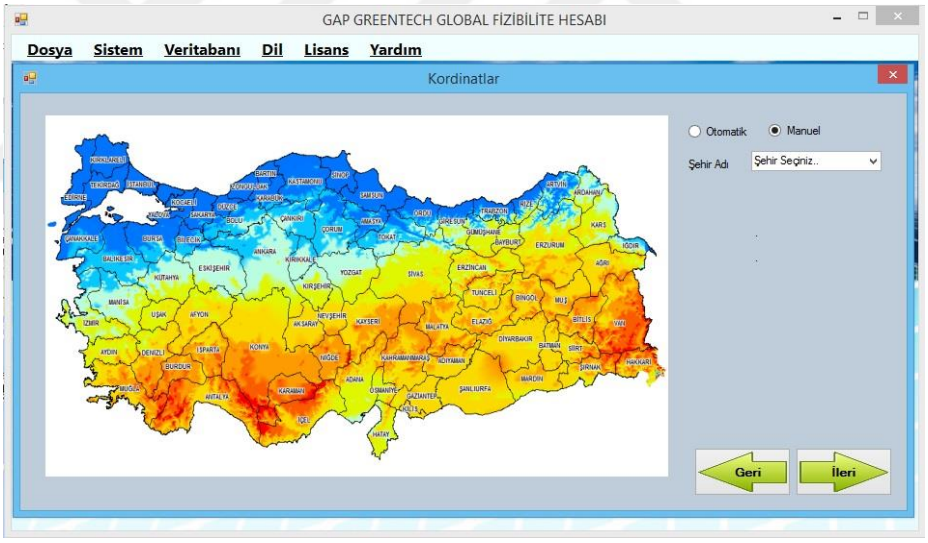
Birinci seçenek Google Maps üzerinden istenilen alan üzerine gelip mouse ile tıklayarak proje konumunu belirlenebilmektedir.

İkinci seçenek olarak arama kutucuğu içerisine proje sahasının adı yazılarak Google Maps üzerinden seçim yapılabilmektedir. Konum arama yaparken küçük büyük harf duyarlılığı olmadan istenilen şekilde arama yapılabilmektedir. Arama kutucuğu boş bırakıldığı zaman kullanıcı uyarılmakta ve bu alanın doldurulması istenmektedir. Konum belirtildikten sonra seçilen şehir ekranda gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Google Maps ile proje konumu belirleme ekranı

Üçüncü seçenek internet bağlantısının olmadığı durumlarda manuel olarak proje sahası seçilebilmektedir. Bu seçenek seçildiğinde veri tabanından seçilen şehrin bilgilerine erişim sağlanabilmektedir. Bu aşamada seçilen şehrin haritası ekrana gelmektedir.



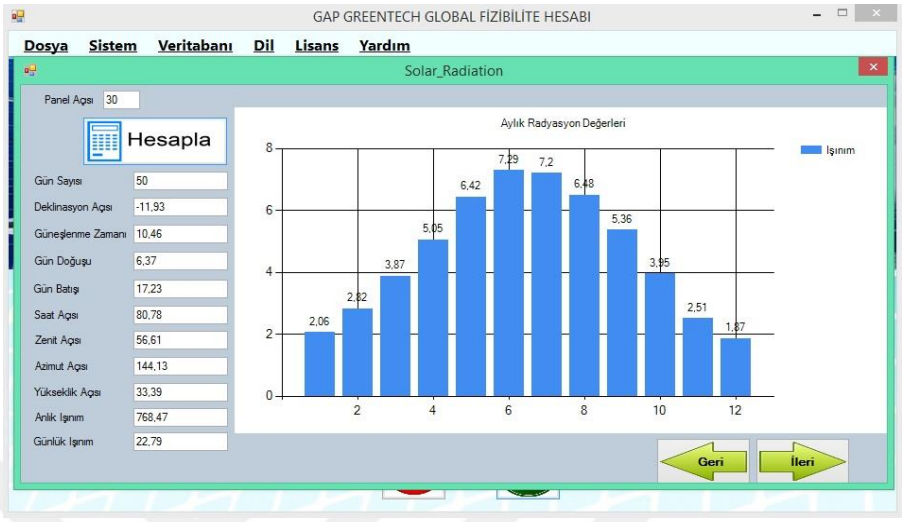
Şekil 4.13. İnternet bağlantısı olmadığı zaman manuel proje konumu belirleme ekranı

4.4.2.4. Bölgenin Güneş ve Güneşlenme Değerlerini Hesaplama

Güneş enerji santrali kurulacak bölgenin güneşlenme zamanı, gün doğuşu, gün batışı, zenit açısı, saat açısı, anlık ışınım gibi değerlerini bilinmesi sistem tasarımı için önemlidir.

Proje sahamızı belirledikten sonra bu güneş değerlerini öğrenmek için güneş radyasyonu hesaplama ekranına geçiyoruz. Burada güneşle ilgili bazı açısal ve

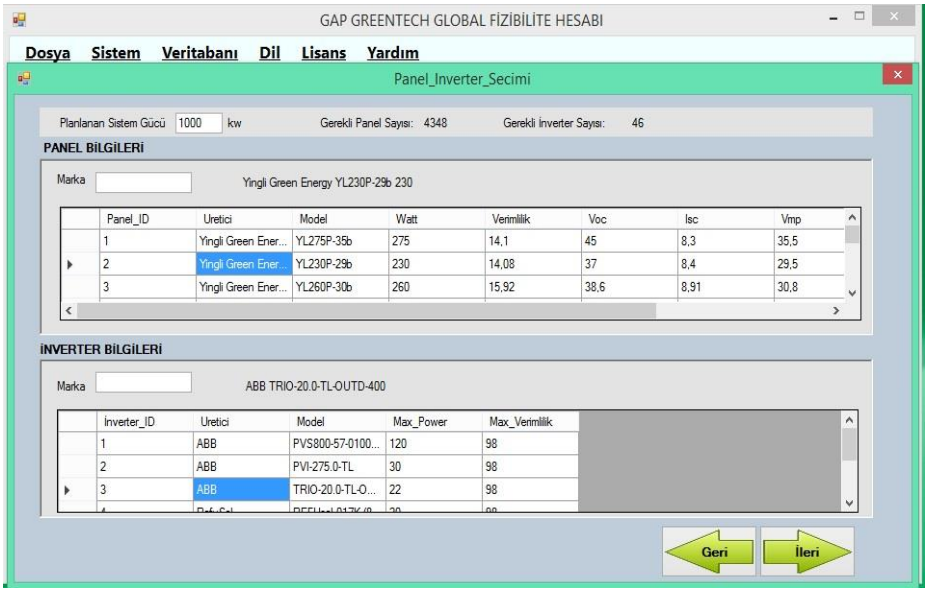
kavramsal hesaplamalar yapılmaktadır. Bu aşamada hesaplanan en önemli değerler güneş radyasyonu değerleridir. Güneş radyasyonunu bize anlık, günlük ve yıllık olarak vermekte ve değerler grafiğe aktarılmaktadır.



Şekil 4.14. Proje alanına ait güneş ve güneş değerlerini hesaplama ekranı

4.4.2.5. Sistem Bileşenlerini Belirleme

Bu aşamada sistem için gerekli olan malzemelerin seçimi ve kurulu gücün belirlemesi gerçekleştirilmektedir. Sistemi tasarlayacak olan kişi bu ekranda kurulacak olan güneş santralinin kurulu gücünü belirlemektedir.

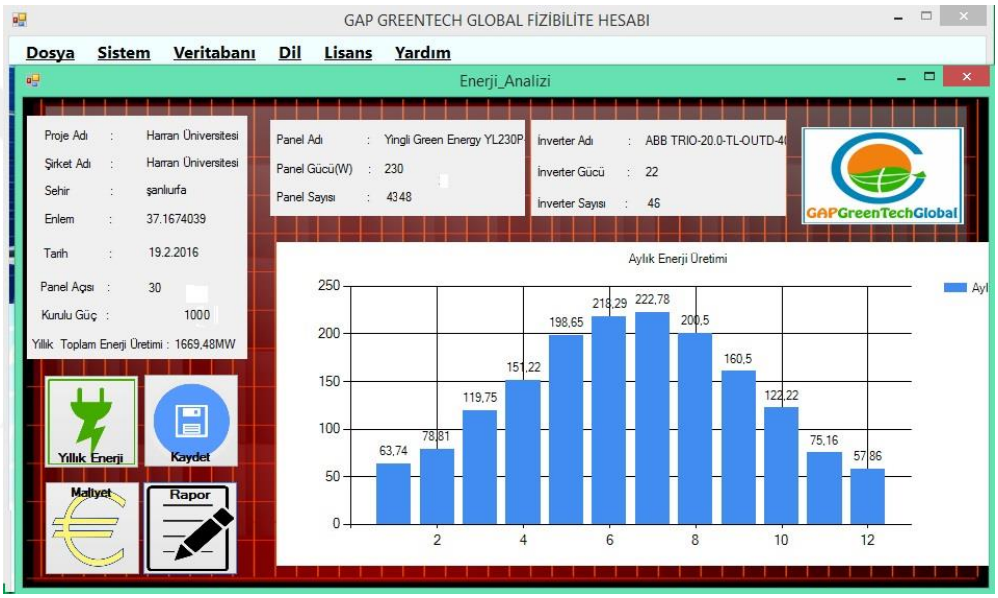


Şekil 4.15. Sisteme ait bileşenlerin seçilme ekranı

Sistemde kullanılacak fotovoltaik paneller ve inverterler bu ekrandan seçilebilmektedir. Kurulu güç değeri referans alınarak gerekli olan fotovoltaik panel sayısını ve inverter sayısını program otomatik olarak kendisi hesaplayabilmektedir.

4.4.2.6.Raporlama ve Kaydetme

Bu ekran görüntüsünde raporlama yapılabilir ve tasarlanan sistem kaydedilebilir. Raporlama aşamasında güneş enerji santrali bilgileri, yıllık enerji üretimi, sistemin kurulum maliyet analizi, amortisman süresi, kullanılan malzeme bilgileri, yatırım geri dönüş süresi gibi bilgiler yer almaktadır.



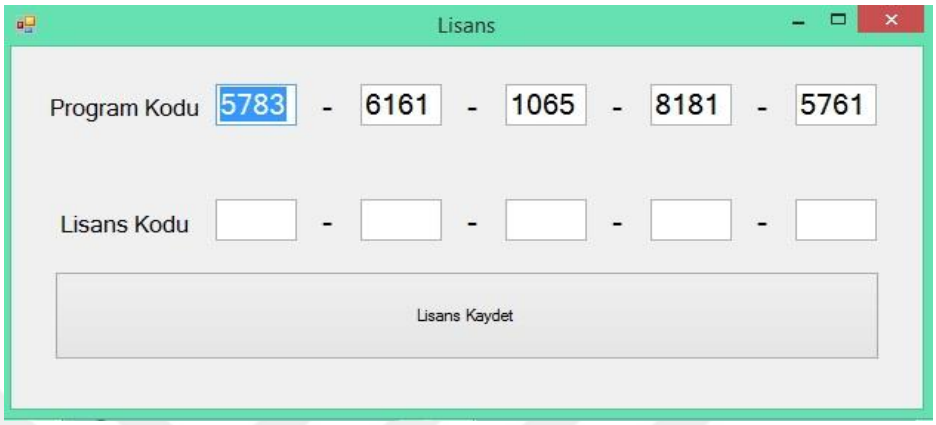
Şekil 4.16. Raporlama ve kaydetme ekranı

Raporda gösterilmek istenen bilgiler aynı zamanda veri tabanı içerisine de kaydedilir. Sistem daha sonradan tekrar incelenmek istenirse veri tabanından bilgiler getirilerek tekrar analiz etmeye olanak sağlar.

4.4.2.7. Lisanslama

Programın kullanım haklarını belirli koşullar altında belirli bir süre ya da süresiz olarak kullanılmasına olanak sağlayan yazılımdır. Yani başka bir ifade ile üreticisinin izni olmadan programın kullanılmasını engellemeye yarayan yazılımlardır.

Yazılım lisanslama hak sahibinin haklarını koruyan belge niteliğindedir. Telif hakkı yasaları, bilgisayar kullanıcılarının hak sahibinin izni olmadan yazılımın kopyalanamayacağını ve kullanılamayacağını beyan eder. Aksi durumlar da yasal yaptırımlar uygulanır.



Şekil 4.17. Programı lisanslama ekranı

Geliştirilen uygulamayı izinsiz kullanımlara engellemek için aşağıdaki lisanslama ara yüzü oluşturulup kodlanmıştır. Yazılımı lisanslama mantığı, her bilgisayar için ayrı bir lisans kodu üretilecek ve bu kod sadece o bilgisayar üzerinde çalışacaktır.

Kod oluşturulurken bilgisayarın donanım bilgileri (CPU seri numarası, BİOS seri numarası) ve program bilgilerinin bulunduğu bir dizi bileşenler hash algoritması uygulanarak şifrelenerek bilgisayar program kodu üretilir. Üretilen program lisans kodu dört basamaklı beş bloktan oluşmaktadır. Toplam yirmi karakterlik bir şifre oluşturulmaktadır. Kullanıcı bilgisayarında üretilen lisans kodu ilgili alanlara yazılır. Şifrelenmiş program lisans kodu doğru ilgili alanlara doğru girilmiş ise program lisanslama işlemi tamamlanmış olur. Eşleşmenin yanlış olduğu durumlarda programın kullanımına izin verilmemektedir. Yazılım lisanslama işlemi tamamlandıktan sonra program kullanıma açılacaktır.

4.5 Maliyet Analizi

Maliyet analizi, bir işyerindeki mal ve hizmetlerin maliyetlerinin belirli bir sistem çerçevesinde toplanması, sınıflandırılması ve incelemesini sağlayan ekonomik bir hesaplama ve değerlendirme metodudur. İşletmeler sürekliliğini devam ettirmek ve

gelişmelerini sağlamak için maliyet analizini iyi hesaplaması gerekir. Maliyet analizi yapılırken tüm gelir ve giderlerin dikkate alınması gereklidir.

Yazılım içerisinde güneş enerji santrali ekipmanlarının her biri için birim fiyat üzerinden hesaplama yapılmaktadır. Bu fiyatlar kullanıcının isteğine göre değiştirilebilir yapıdadır. Kullanıcı bu değerleri değiştirmez ise varsayılan değerler üzerinden toplam giderleri hesaplanır. Toplam gelirler ise yıllık üretilen enerji miktarına göre hesaplanır. Toplam giderler ve gelirlere bakılarak yatırım geri dönüş süresi bulunur.

Gelirlerin hesaplanması: Güneş enerji santrali için, üretilen enerji miktarının elektrik dağıtım şirketine satışı sonucunda elde edilen kazançtır. Yıllık bazda geliri hesaplamak için şu formülden yararlanabiliriz.

Yıllık Gelir= (Destek – Vergiler) Yıllık Net Üretilen Enerji

Formülde belirtilen destek parametresi elektrik dağıtım şirketinin kWh başına üreticiye ödediği para miktarıdır.

Giderlerin Hesaplanması: Maliyet analizi hesaplamalarında güneş enerji santrali kurulumu için harcanan maliyetler; malzeme maliyeti, işçilik maliyeti ve amortisman maliyetidir.

Efektif Gelir ve Yatırım Geri Dönüş Süresi: Efektif gelir güneş enerji santralinin net gelirinden bütün giderlerin çıkarılması sonucunda hesaplanan gelirdir. Projenin gerçekleşmesi için harcanan paranın proje hayata geçtikten sonra işletme sahibine dönüş süresine yatırım geri dönüş süresi denir. Yatırım geri dönüş süresi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (YGDS= Yatırım geri dönüş süresi).

YGDS= Başlangıç Yatırımı / Yıllık Nakit Gelir

Güneş enerji santrallerinde üretilen elektrik enerjisi fotovoltaik panelin yıpranma oranı kadar her yıl azalmaktadır. Fotovoltaik panel ilk üretime başladığı yıl tam kapasitede üretim yaparken sonraki her yıl yıpranma oranı ölçüsünde enerji üretiminde bir azalma görülür. Yıpranmaya korozyon ve sıcaklık sebep olmaktadır. Yıpranma oluşan panellerde verim kaybının yaşanması beklenmektedir. Örneğin

yıpranma kaybı %0,67 olan bir fotovoltaik panel ikinci yıl; (1-0,0067=0,9933) üçüncü yıl; (0,9933- 0,0067= 0,9866) şeklinde giderek azalan bir verimle çalışır.

4.6 Rapor Oluşturma

Rapor bir iş veya konu için yapılan araştırma, inceleme sonucu ortaya konmuş düşünce ve tespitler olarak tanımlanır. Bilişim sektöründe de rapor aynı mantık ile kullanılır. Kullanıcıyı bilgilendirme amacı ile kullanıcının isteklerine cevap veren görsel, sayısal grafiksel ve tablolar aracılığı ile çıktı veren programın sonuç elemanıdır. Raporlama kısmı olmadan program tam anlamıyla bir anlam ifade etmez eksik kalır.

Yazılımlarda rapor oluşturmak için birçok yol ve yöntem bulunmaktadır. Bu yol ve yöntemler programcının kullandığı programlama dili ve platforma bağlı olarak değişebilir. Örneğin CrystalReports, ReportViewer JasperReports, JreeChart, Fast Report, ZReport gibi raporlama araçları bulunmaktadır.

Bu proje için CrystalReports raporlama aracını kullanıldı. CrystalReports ücretsiz olması, basit kullanımı ve etkin yeteneklere sahip bir raporlama aracıdır. İlk olarak Visual Basic programlama dili için geliştirilmiş, kısa sürede diğer programlama dillerini de destekler hale gelmiştir. CrystalReports aracını kullanabilmek için kütüphanelerini indirip Microsoft Visual Studio içerisine almak gerekmektedir.

Program çıktılarının hangi parametreleri göstereceği belirlendikten sonra rapor tasarımı oluşturulmalıdır. Verilerin kullanıcıya tablo, grafik, görsel, sayısal veya metin seçeneklerinden hangisi ile sunulacağı belirlenmelidir. Veriler uygun olan yöntem ile rapora eklenmelidir. Rapor da tüm parametrelerin açık ve anlaşılır şekilde gösterilmesi gerekmektedir. Karmaşık ve anlaşılması güç olan veriler anlaşılır hale gelecek şekilde açıklanmalıdır. Çünkü raporlar kişileri bir konu hakkında yönlendirmek, bilgilendirmek ve kararlar vermesini sağlayan kaynaklardır. Bu sebepten dolayı yapılacak raporun anlaşılır ve doğru olması çok önemlidir.

Güneş enerji santrali fizibilite raporunda kullanıcıya sunulacak temel parametreler şöyle sıralanabilir.

- Proje saha bilgisi

- Proje sahibi / şirket bilgileri
- Toplam kurulu sistem gücü
- Toplam gerekli alan
- Aylık ve yıllık güneş ışınım güç tablosu
- Toplam üretilen elektrik enerjisi
- Fotovoltaik panel karakteristikleri
- İnverter karakteristikleri
- Sistemdeki kayıplar
- Sistem kurulum maliyeti
- Sistemin aylık/yıllık getirisi
- Sistemin yatırım geri dönüş süresi
- Kâra geçiş noktası ve 20 yıllık gelir tablosu

Raporlamada yer alan bilgiler ışığında araştırmacılar ve yatırımcılar güneş enerji santrali kurulumu için ön bilgi edinmiş olacaklardır. Fizibilite raporu ile güneş enerji santrali kurulumlarında doğru saha seçimi ve malzemelerin kullanımı hakkında bilgi verilecektir. Bu sayede kayıpları en aza indirerek en yüksek verimde elektrik üretimi için gerekli yöntemler uygulanabilecektir. Yazılım kapsamında üretilen örnek bir rapor 7. Bölümdeki ekler kısmında gösterilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Güneş ışınım modelleri, güneş enerji sistemlerinin tasarlanması açısından önemlidir. Güneş enerji santrali tasarımında mühendislerin, araştırmacıların ve yatırımcıların göz önünde bulundurduğu ilk parametre bölgenin güneş ışınım değerleridir.

Güneş ışınım değerleri anlık, saatlik günlük olarak meteoroloji istasyonları tarafından ölçüm cihazları ile kaydedilmektedir. Bu değerleri ölçen cihazların maliyetinin yüksek olması dolayısıyla her yerde ölçüm istasyonu bulunmamaktadır. Ölçüm cihazlarına alternatif olarak araştırmacılar tarafından istatistiksel veriler kullanılarak yatay yüzeye gelen ortalama günlük güneş ışınımının belirlenmesi için matematiksel modeller geliştirilmiştir.

Modeller oluşturulurken, meteorolojik ve atmosferik veriler matematiksel fonksiyonlar kullanarak bölgeye uygun şekilde uyarlanmıştır. Modellerden elde edilen sonuçlar ölçülen değerlerle uyumlu olduğu yapılan karşılaştırmalar sonucunda görülmüştür. Sonuç olarak, bir bölge için tüm modeller günlük güneş radyasyonunun tahmini değerini verir. Ancak kesin bir bilgi için o bölgeye göre yeni denklemler oluşturulması gerekir.

GES kurulumu yüksek maliyet gerektirdiğinden kredi kullanılması yaygındır. Uygun kredinin bulunmasında güvenilir fizibilite çalışması önemli bir unsurdur. Bunun için sistemin performans ve verim değerlerinin ön analizinin doğru hesaplanması tasarımcı ve yatırımcı açısından avantaj sağlar. Son zamanlarda gittikçe önem kazanan temiz enerji sektöründe doğru tasarım çalışması ile verimliliğin artmasını ve maliyetlerin düşmesi sağlamaktadır. Bu sayede kurulum maliyeti yüksek olan bu sistemlerin yatırım geri dönüş süresi kısalacaktır.

Çalışmamızda Türkiye'deki farklı bölgelerden seçilmiş 8 şehir için, 15 matematiksel model karşılaştırıldı. Hesaplamalar sonucunda Türkiye geneli için en yakın sonuçları veren Kılıç-Öztürk modeli kullanıldı. GES fizibilite yazılımında saha seçimi, kullanılan malzemeler, gerekli alan hesabı, gölgelenme faktörü, enerji üretimi, enerji kayıpları, güneşin konumu ve güneş açıları hesaplanarak raporlanmıştır. Bu uygulama yapılacak olan güneş enerjisi çalışmalarına yerli kaynak olarak katkı sağlanacaktır.

Program çıktısı olarak aldığımız fizibilite raporunun diğer kabul gören yazılımlarla ve gerçek veriler üzerinden yapılan hesaplamalarla aynı doğrultuda sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer yazılımlardan farklı olarak Türkiye özelinde bölgesel verilere en yakın modellemelerin kullanıldığı ve yönetmeliklerde belirtilen esaslara uygun olarak fizibilite raporu sunmaktadır. Ayrıca program arayüzünün Türkçe olması programın kolay kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

İleriki çalışmalarda masaüstü uygulaması olan bu çalışmanın web ortama taşınması sağlanabilir. Ölçülen değerler ve hesaplanan değerler sunucu(server) üzerinde saklanarak programın otomatik olarak sonuçları karşılaştırması sağlanır. Böylece hesaplamalarla veya yapay zeka-makine öğrenme gibi yöntemler kullanılarak daha doğru değerleri üretecek modelin sürekli güncellenmesi yapılabilir. Masaüstü uygulamasına matematiksel model seçim menüsü eklenerek bir bölge için istenilen modelin kullanılarak hesaplama yapılması sağlanabilir. Böylece bir bölgeye ait güneş ışınım verileri birçok farklı model kullanılarak hesaplaması yapılabilir. Ayrıca, yazılım ölçülen gerçek değerler ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılmasını sağlayarak araştırmacıların bölgeye uygun yeni bir matematiksel denklem geliştirmesini yardımcı olabilecektir.

KAYNAKLAR

AKDUR, B., 2012. Güneş Enerjisi ile Hava Isıtacak, İzolasyonlu Kompozit Duvar Dizaynı ve Similasyonu, Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.

AKINOGLU, BG., ECEVİT, A 1990. Construction of a quadratic model using modified Angstrom coefficients to estimate global solar radiation, Solar Energy 45, 85- 92.

AKINOGLU, BG., ECEVİT, A., 1990. A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation, Energy, 15: 865–72.

AKSOY, B., 1997. Estimated monthly average global radiationfor Turkey and its comparison with observations,Renewable Energy 10, 625-633.

ALSAAD, MA., 1990 Characteristic distribution of global radiation for Amman, Jordan, Solar and Wind Technology, 7(2/3): 261-6.

ALTAS, .H., 1998. Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik- 3e Dergisi, 47, 66-71.

ALTIN, V., 2006. Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi, Mimar ve Mühendis

ALTIN, V., 2006.Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması, Bilim ve Teknik Dergisi, 464, 41.

ANGSTRÖM A., 1924. Solar and Terrestrial radiation, Quartely Journal of Royal Meteorological Society, 50: 121-125.

ASLAN, E., TENEKECİ, M.E., BEŞLİ, N., GÜMÜŞÇÜ, A:, 2015. Solar Enerji Sistemleri için Güneş Radyasyon Hesaplama Yazılımı, Akademik Bilişim Eskişehir.

ASLAN, E., TENEKECİ, M.E., BEŞLİ, N., YEŞİLATA, B.,2014. Online Solar Radiation Modelling and Visualization Software, SolarTR2014, İzmir,

BABUR, Y., DEMİRKOL, S., 2004. Yeryüzüne düşen toplam güneş ışını miktarını belirlemede kullanılan modellerin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması. V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, s. 227-231.

BAHEL, V., BAKHSH, H., SRINIVASAN, RA., 1987. Correlation for estimation of global solar radiation, Energy, 12: 131-5.

BAKIRCI, K., 2009. Yatay Yüzeye Gelen Anlık Global Güneş Işınımın Tahmini İçin Basit Bir Hesaplama Metodu, Isı Bilim ve Teknik Dergisi, sy 53-58.

BENKACİALİ, S., GAİRAA, K.,2012. Comparative Study of Two Models To Estimate Solar Radiation On An İnclined Surface Revue des Energies Renouvelables Vol, sy 219 – 228.

BENSON, RB., PARIS, MV., SHERRY, J E., JUSTUS, CG., 1984. Estimation of Daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation fron sunshine duration measurements, Solar Energy, 32: 523-35.

BULUT, H,.2009. Bina Enerji Analizi ve Güneş Enerji Sistemleri İçin Eğimli Yüzeylere Gelen Toplam Güneş Işınım Şiddeti Değerlerinin Hesaplanması, IX.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, sy 435-448.

BULUT, H,. Durmaz, F.A., 2008. Türkiye İçin Pencerelerden Geçen Güneş Işınım Analizi, II.Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, sy 85-95, 12-13 Haziran 2008.

BULUT, H,. Durmaz, F.A., YEŞİLATA, B., 2008. Eğik Düzleme Gelen Güneş Işınım Değerlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, I.Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi sy 143-149 21-23 Haziran.

BULUT, H., 2008. Adana ilinde eğik yüzeylere gelen güneş ışınım miktarının belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, Adana,Türkiye, s. 1-6.

BURESCH, M.,1983. Photovoltaic Energy Systems, McGraw-Hill, New York.

DAVIES, JA., ABDEL-WAHAB, M., HOWARD, JE., 1984. Errors in estimating solar irradiance from a numerical model, Solar Energy, 32: 307.
Dergisi, 33, 28-31, 2004.

DOĞAN, İ.,2006 Güneş Enerjisi Uygulamaları, Aydın Bodur Bilişim.

DUFFIE J, A., BECKMAN W, A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, John wiley& Sons, inc, Canada, 888p.

DURMAZ, F.A., 2007. Eğik Yüzeylere Gelen Güneş Işınımının Analizi ve Cam Yüzeylerden Geçen Güneş Işınımının Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

FIRATOĞLU, Z.A., 2002. Fotovoltaik Destekli Su Pompası Sistemlerini Analiz ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

FIRATOĞLU, Z.A., YEŞİLATA, B., 2003. Bataryalı ve Direk Akupleli Fotovoltaik Pompa Sistemlerinin Çalışma karakteristiklerinin araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, sy 8-18, Haziran.

FOUKAL PV., 1990. Solar Astrophysics, Wiley, Newyork.

GOPINATHAN, KK., 1980. A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface, Solar Wind Technol, 5: 581-3.

GUEYMARD, C., 2000. Predicting and performance assessment of mean hourly global radiation, Solar Energy, 68: 285-303.

GÜNGÖR, A., YILDIZ A., KARTAL Y., 2005. Ülkemiz enlemleri açık gün ışınımının hesaplanması için bir algoritma, örnek uygulama: Mersin, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, s.161-174.

KHOLAGI, A., RAMADAN, MRI., ALI, ZEH., FATTAH, YA., 1983. Global and diffuse solar irradiance in Yemen (Y.A.R), Solar Energy, 31(1): 55–62.

LI, DHW., LAM, JC., LAU, CCS., 2002. A new approach for predicting vertical global solar irradiance, Renewable Energy, 25: 591-606.

LIU B., JORDAN, R.,1962. Daily insolation on surfaces tilted towards the equator, Trans. ASHRAE, 526-541.

LIU, B., JORDAN, R., 1963.The long term average performance of flat plate solar energy collectors, Solar Energy, 7: 53-74.

OGELMAN, H., ECEVIT, A., TASDEMIROGLU, E., 1984. A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data, Solar Energy, 33: 619-625.

ORGILL, JF., HOLLANDS, KGT., 1977 Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface, Solar Energy, 19(4): 357–9.

ÖZDEMİR, Ş., 2007 Fotovoltaik Sistemler İçin Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını izleyen Konvertörün Gerçekleştirilmesi, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZTÜRK M., ÖZBEK, N., BERKAMA, B., 2012. Isparta İçin Aylık Ortalama Günlük Global Güneş Radyasyonu Tahmininde Mevcut Olan Bazı Modellerin Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 18, sayı 1, sy 13-27.

ÖZTÜRK, A., KILIÇ, A., 1983.Güneş Enerjisi, Kipaş Yayıncılık, İstanbul,

RAJA, IA., TWIDELL, JW., 1990. Diurnal variation of global insolation over five locations in Pakistan, Solar Energy, 44: 73–6.

SAMUEL, TDMA., 1991. Estimation of global radiation for Sri Lanka, Solar Energy, 47:333-337.

SKARTVEIT, A., 1987. OLSETH, J., Modelling slope irradiance at high latitudes, Solar Energy, 38: 271-274.

SOLER, A., 1990. Monthly specific Rietveld's correlations, Solar Wind Technol, 7: 305-8.

TARHAN S., SARI, A., 2005. Model selection for global and diffuse radiation over the central black sea (cbs) region of Turkey, Energy Conversion and Management, 46: 605-613.

TIRIS, M., TIRIS, C., ERDALLI Y., 1997. Water heating system by solar energy: Marmara Research Centre, Institute of Energy Systems and Environmental Research, NATO TU-COATING, Gebze, Kocaeli, Turkey.

TOGRUL, IT, TOGRUL, H., 2002. "H. Global solar radiation over Turkey: Comparison of predicted and measured data", Renewable Energy, 25: 55-67.

TTMD, Türkiye İklim Verileri, 2000. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara.

UYAREL, Y., ÖZ, E. S., 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen yayınevi.

ÜLGEN, K., HEPBAŞLI, A., 2003. Comparison of the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for İzmir, Turkey, Energy Sources, 25: 637-649.

ÜLGEN, K., ÖZBALTA, N., 2000. Measured and estimated global radiation on horizontal surface for Bornova, Izmir. XII. National Thermal Science and Technical Congress, İzmir, Turkey, p. 113–18.

VARTIAINEN., 2000. A new approach to estimating the diffuse irradiance on inclined surfaces, Renewable Energy, 20: 45-64.

WONG, L.T., CHOW, W.K., 2001. Solar Radiation Model, Applied Energy 69, sy 191- 224.

YEŞİLATA, B., AKTACİR, M.A., 2001.Fotovoltaik Güç Sistemli Pompaların Dizayn Esasların Araştırılması, Mühendis ve Makine, cilt 42, sayı 493, sy 29-34.

YILMAZ, T., BULUT, H., ÖZGÖREN, M., 1996. Isı Kazancı Olarak Camdan Geçen Toplam Güneş Radyasyonu Hesaplanması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi sy 133-146.

YÖRÜKOĞULLARI, E., 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları , Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Yayınları, Eskişehir.

ZABARA K., 1986. Estimation of global radiation in Greece, Solar Wind Technology Journal, 7: 267-272.

ZEROUAL, A., ANKRIM, M., WİLKİNSON, AJ., 1996. The diffuse-global correlation: its application to estimating solar radiation on tilted surfaces in Marrakesh, Morocco, Renewable Energy, 7: 1-13.

European Commission (Institute for Energy and Transport) http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solmod3.htm

European Commission (Institute for Energy and Transport) http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solmod2.htm

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2010. http://www.mgm.gov.tr
National Renewable Energy Laboratory http://www.nrel.gov/
Photovoltaic Geographical Information System – Interactive Maps http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emrah ASLAN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Hizan – 01/06/1990
e-mail : emrahaslan33@gmail.com / emrahaslan@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cumhuriyet Lisesi, Tarsus/ Mersin	2009
Üniversite	: Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, Şanlıurfa	2013
	Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Şanlıurfa	-
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği A.B.D Şanlıurfa	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl		Kurum Görevi
2013-2014	Akçakale Halk Eğitim Merkezi	Uzman
2014-2015	GAP GreenTech Global Dan. A.Ş	Mühendis
2015- 2016	OMYNTECH Teknoloji Dan. LTD. ŞTİ.	Mühendis
2016 -	Dicle Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Bilgisayar Programlama, Veri tabanı Yönetim Sistemleri, Fotovoltaik Sistemler

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

[1] ASLAN, E., TENEKECİ, M.E., BEŞLİ, N., GÜMÜŞÇÜ, A:, Solar Enerji Sistemleri için Güneş Radyasyon Hesaplama Yazılımı, Akademik Bilişim Eskişehir, 2015.

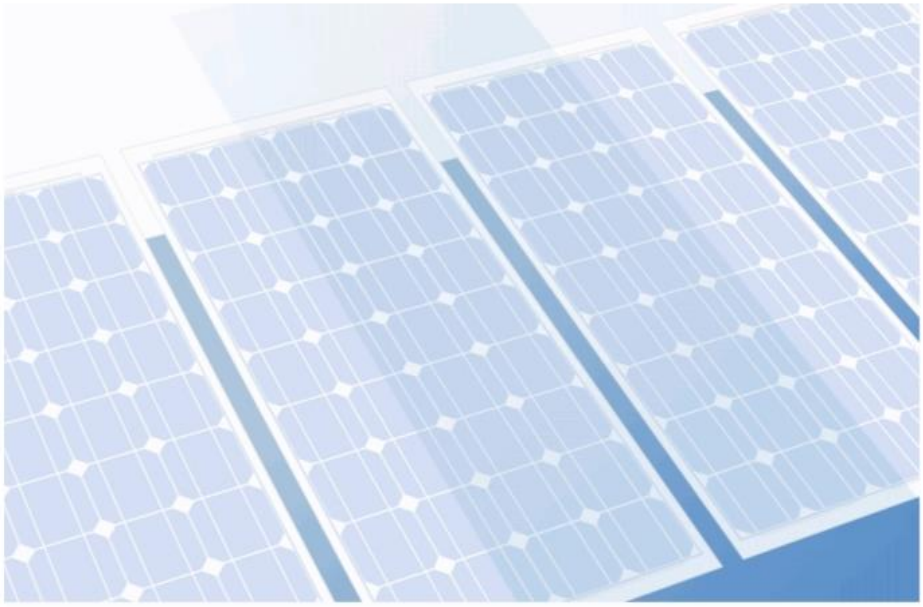
[2] ASLAN, E., BAYTAK, A., TENEKECİ, M.E., GÜMÜŞÇÜ, A:, Görüntüden OpenCV ile Duygu Analizi, Akademik Bilişim Mersin, 2014.

[3] ASLAN, E., TENEKECİ, M.E., BEŞLİ, N., YEŞİLATA, B., Online Solar Radiation Modelling and Visualization Software, SolarTR2014, İzmir, 2014.

EKLER

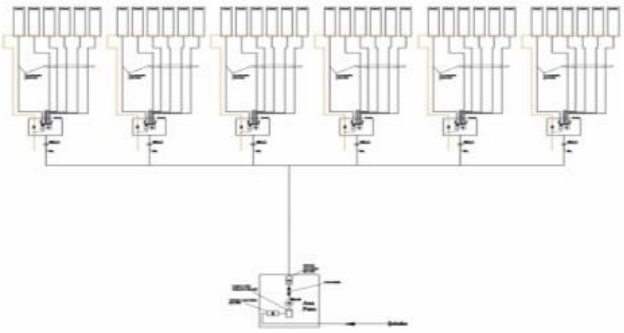
EK-1: Harran Üniversitesi 1 MWp Güneş Enerji Santral Uygulaması

GAP Greentech Global Fizibilite Raporu





Proje_adi:	Harran Üniversitesi
Şehir :	şanlıurfa
Kurulu Güc (MWp):	1000
Panel Sayısı:	3847
İnverter Sayısı:	34



Proje Bilgileri :

Proje_adi:	Harran Üniversitesi
Şirket Adı:	Harran
Şehir :	şanlıurfa
Enlem:	37.1674039
Boylam:	38.7955149
Kurulu Güc (kWp):	1000
Panel Sayısı:	3847
İnverter Sayısı:	34
Panel Açısı:	30
Yıllık Enerji Üretimi:	1601,83MWh

PV Modül Bilgileri :

Panel marka ve modeli:	Yingli Green
Watt:	260
Panel Verimi(%):	15,92
Voc:	38,6
Isc:	8,91
Vmp:	30,8
Ipm:	8,5
Ağırlık:	19,1



İnverter Bilgileri:

İnverter_marka ve modeli	ABB
Max. Power:	30
Max. Verimlilik	98



Maliyet Bilgileri :

Sistem Maliyeti 3.200.000,00 TL

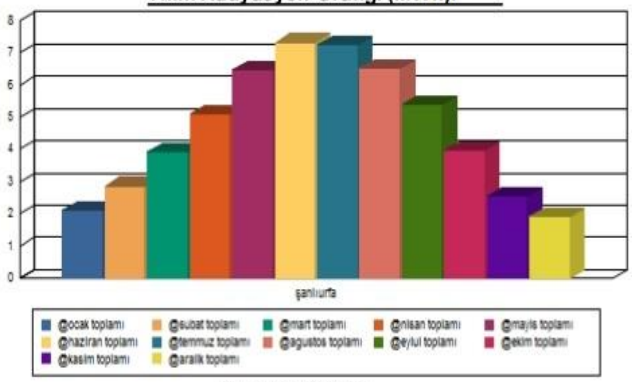
Yıllık Gelir :

Yıl	Yıllık Üretim(MWh)	Yıllık Kazanç (TL)	Net Kazanç (TL)
1	1601,83	640.571,82 ₺	-2.559.428,18 ₺
2	1591,1	636.280,89 ₺	-1.923.147,29 ₺
3	1580,37	631.989,96 ₺	-1.291.157,33 ₺
4	1569,63	627.695,04 ₺	-663.462,29 ₺
5	1558,9	623.404,11 ₺	-40.058,18 ₺
6	1548,17	619.113,18 ₺	579.055,00 ₺
7	1537,44	614.822,26 ₺	1.193.877,26 ₺
8	1526,7	610.527,33 ₺	1.804.404,59 ₺
9	1515,97	606.236,40 ₺	2.410.640,99 ₺
10	1505,24	601.945,48 ₺	3.012.586,47 ₺
11	1494,51	597.654,55 ₺	3.610.241,01 ₺
12	1483,78	593.363,62 ₺	4.203.604,64 ₺
13	1473,04	584.777,77 ₺	4.792.673,33 ₺
14	1462,31	584.777,77 ₺	5.377.451,10 ₺
15	1451,58	580.486,84 ₺	5.957.937,94 ₺
16	1440,85	576.195,92 ₺	6.534.133,86 ₺
17	1430,11	571.900,99 ₺	7.106.034,85 ₺
18	1419,38	567.610,06 ₺	7.673.644,91 ₺
19	1408,65	563.319,14 ₺	8.236.964,04 ₺
20	1397,92	559.028,21 ₺	8.795.992,25 ₺

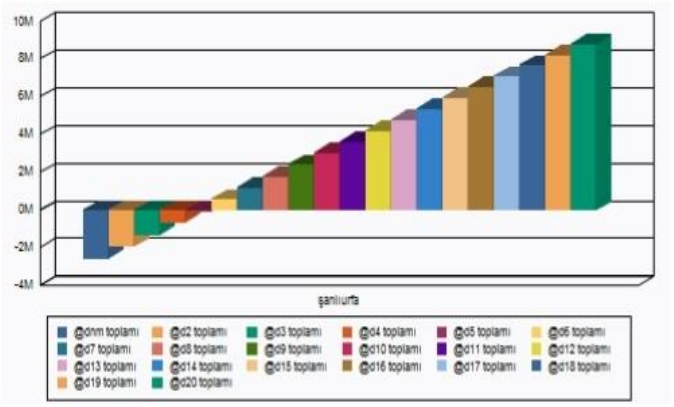
Yıllık Radyasyon Değerleri (MWh):

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2,09	2,86	3,91	5,1	6,47	7,32	7,23	6,51	5,38	3,98	2,54	1,9

Yıllık Radyasyon Grafiği (MWh):

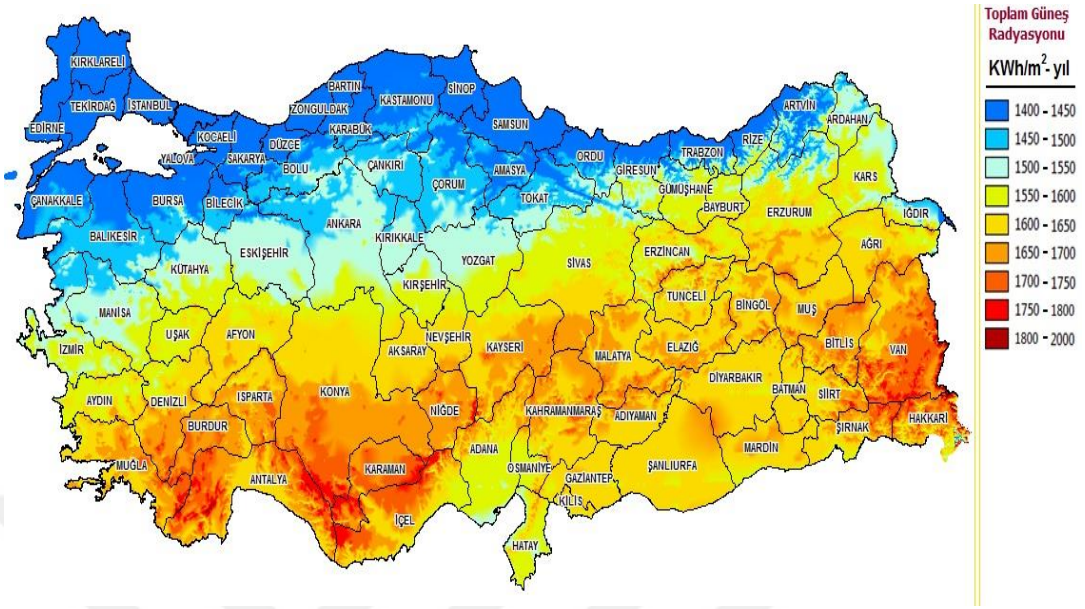


Kazanç Grafiği

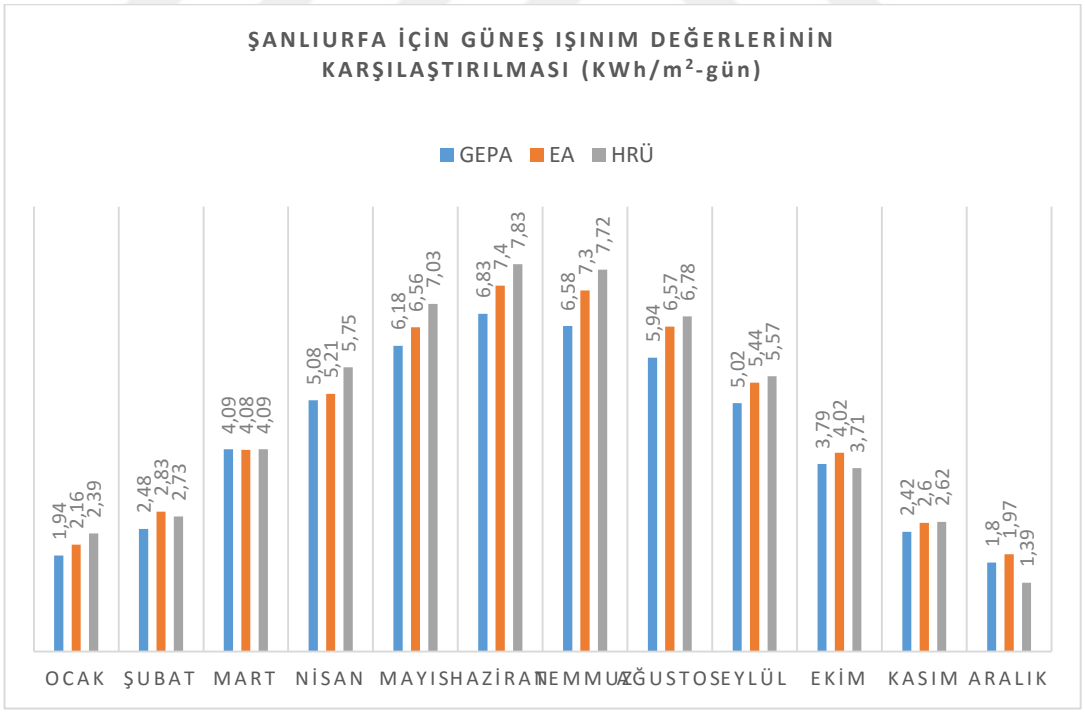



GAPGreenTechGlobal

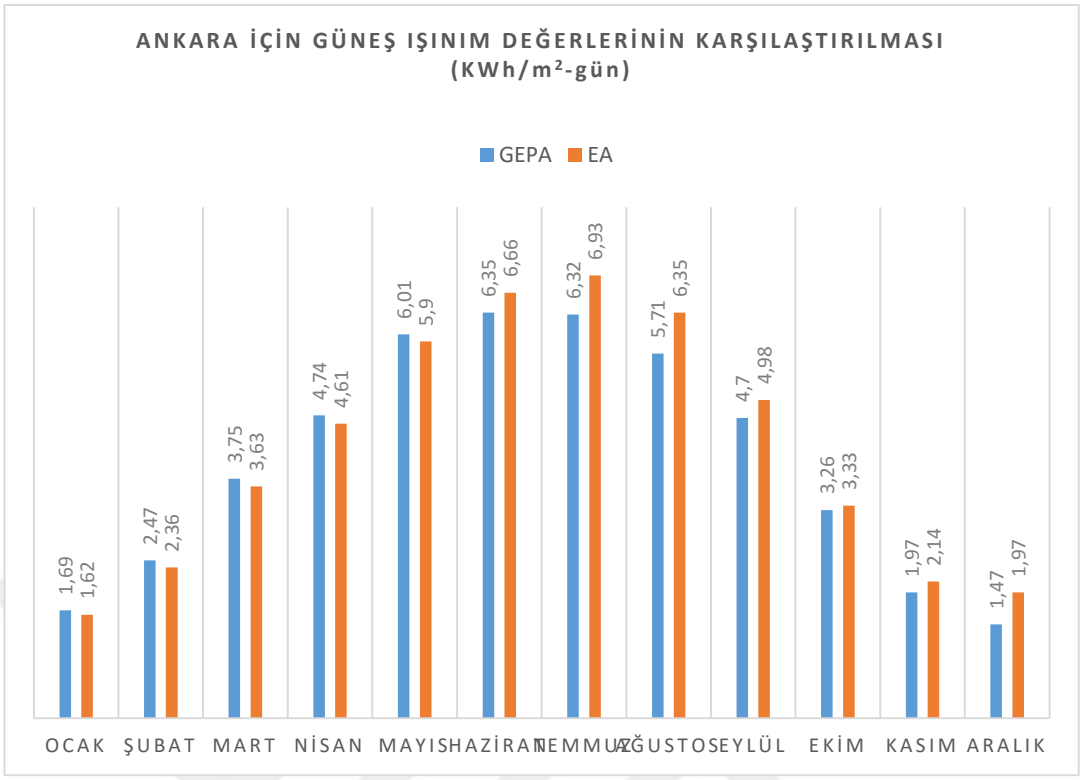
EK-2:Matematiksel Modelin GEPA ile Karşılaştırılması



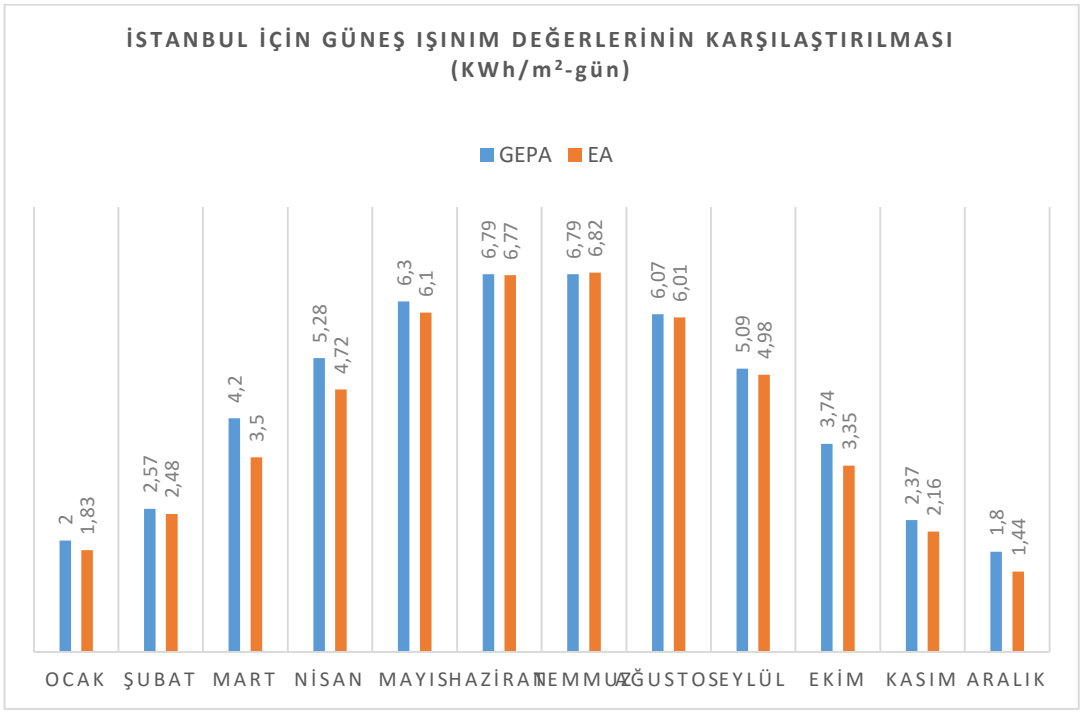
Şekil: Türkiye için Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA)



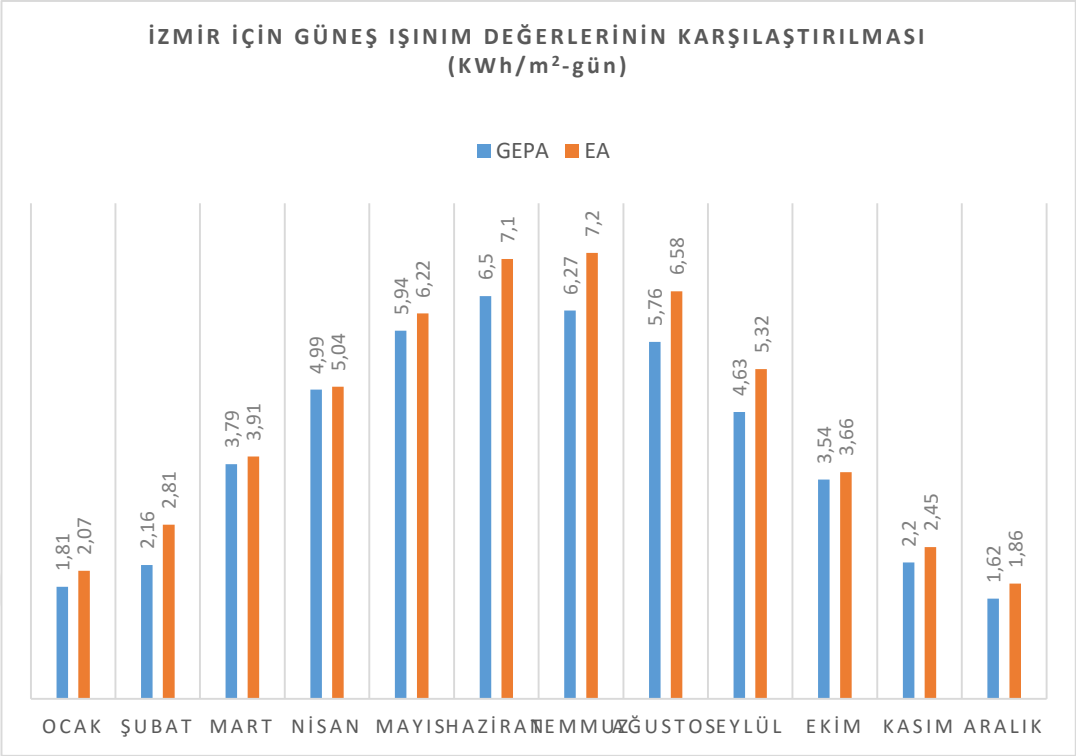
Şekil: Şanlıurfa İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması (KWh/m^2-gün)



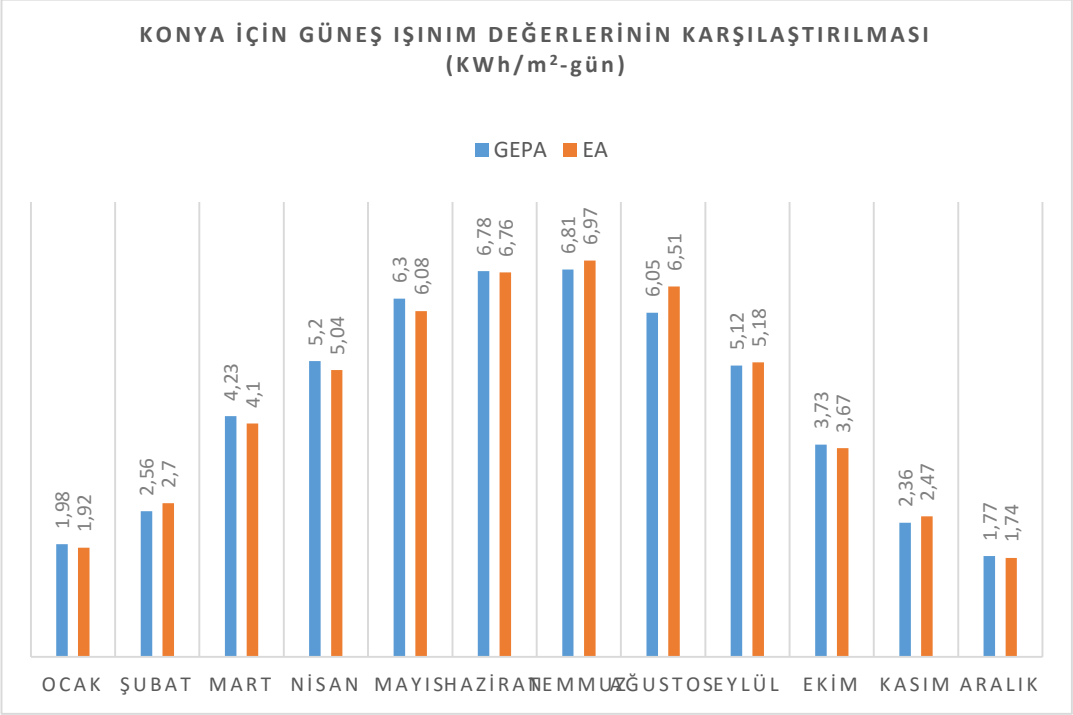
Şekil: Ankara İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması (KWh/m^2-gün)



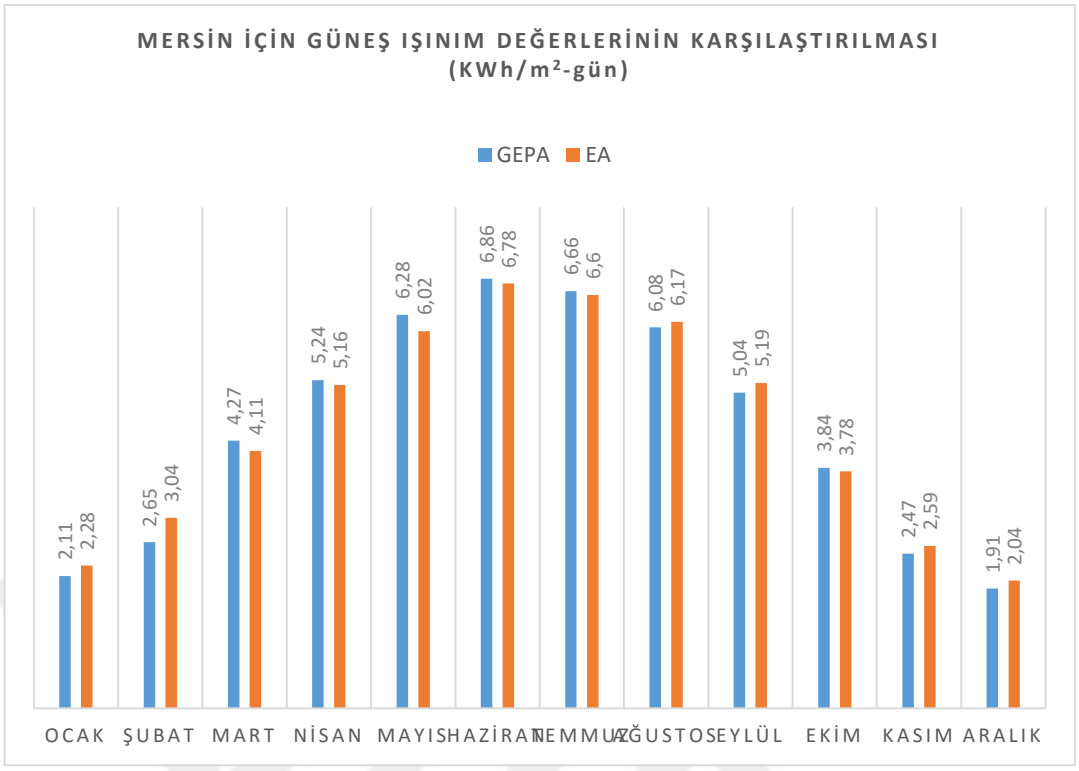
Şekil: İstanbul İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması (KWh/m^2-gün)



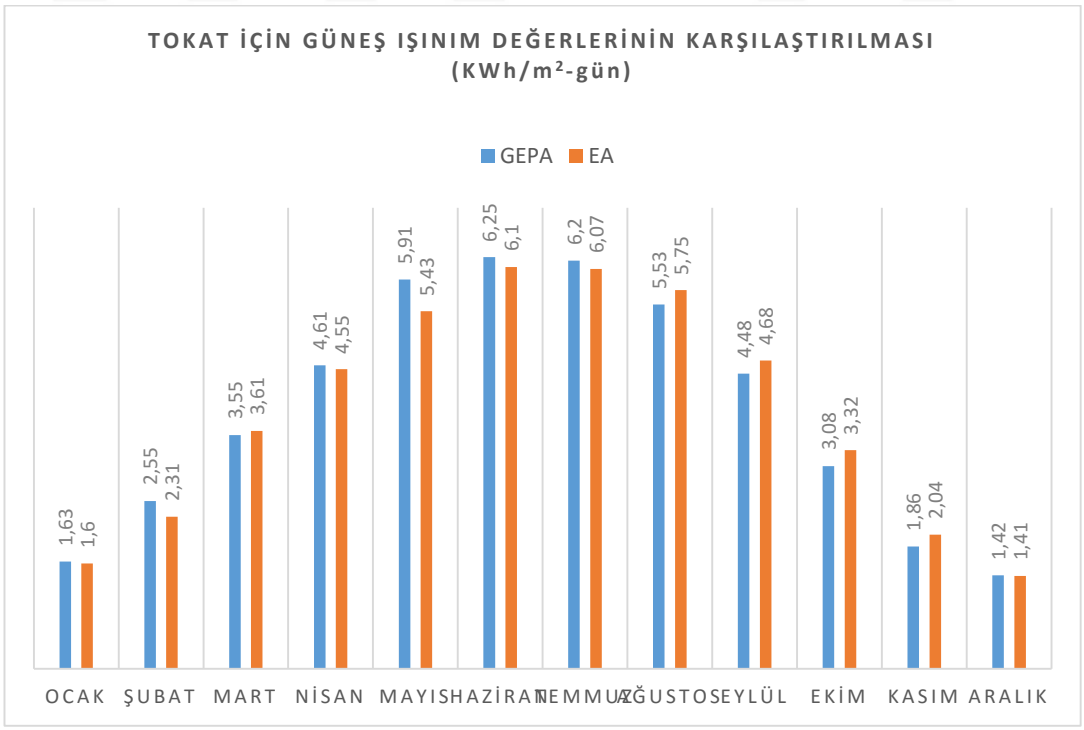
Şekil: İzmir İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması (KWh/m^2-gün)



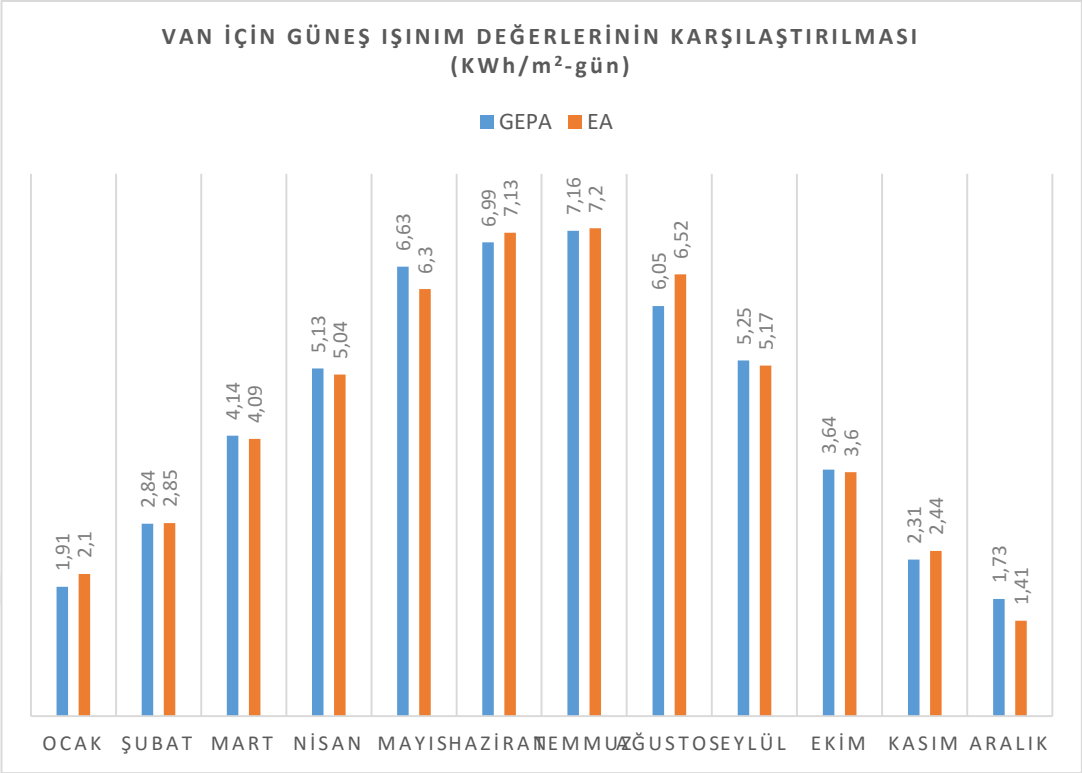
Şekil: Konya İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması (KWh/m^2-gün)



Şekil: Mersin İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması (KWh/m^2-gün)



Şekil: Tokat İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması (KWh/m^2-gün)



Şekil: Van İli için GEPA ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının Karşılaştırılması (KWh/m^2-gün)

EK-3:GES Başvuru Blok Diyagramı

