SERKA
KALKINMA AJANSI
DEVELOPMENT AGENCY
SERHAT

metosfer®
O'na güvenin!

IĞDIR
ve
FV GÜNEŞ ELEKTRİĞİ

Güneş İlk Iğdır'dan Doğar

2016

IĞDIR VE FV GÜNEŞ ELEKTRİĞİ

-Güneş ilk Iğdır'dan doğar!..-

Proje sahibi
Serhat Kalkınma Ajansı (SERKA)
(Iğdır Yatırım Destek Ofisi)

Proje:
Bu araştırma ve geliştirme çalışması, SERKA tarafından,
Iğdır İli Güneş Enerjisinden Elektrik Üretme Potansiyelinin Tespitine Yönelik Araştırma Geliştirme Faaliyeti kapsamında
Metosfer Enerji Mühendislik ve Meteoroloji Hizmetleri Ticaret Limited Şirketi'ne yaptırılmıştır.

Hazırlayan
Dr. Levent YALÇIN
Araştırmacı

Tasarım
Akıllı Tasarım

1. Baskı
Ekim 2016

ISBN NO: 978-605-66913-0-0

ÖNSÖZ

Iğdır güneşi ilk karşılayan şehrimiz. Güneş ilk önce Iğdır'da doğuyor Türkiye için. Üç ayrı ülkeye komşu belki de dünyadaki tek şehir. Güneyindeki 5 km yüksekliğinde Ağrı Dağı'nın gölgesinde, kuzeyindeki Aras Nehri'nin oluşturduğu ovada kurulu. 5000 m'den ovaya inen havanın ısıttığı, kışıyla namlı Doğu Anadolu'da şahsına münhasır bir küçük iklim bölgesi, bir Güneş Şehri. Türkiye'de yağışın en az olduğu, bulutun en az oluştuğu, güneşin en çok ışıdığı şehirlerimizden. Güneşten yararlanmayı en çok hak edenlerden… Lakin küresel ve ulusal çalışmalarda gözden kaçabiliyor, göz ardı edilebiliyor bu küçük iklim bölgesi. Kendine has özellikleriyle hak ediyor özel ilgiyi, özel çalışmaları, odaklanmaları. Kendi arazi çalışmaları var, meteorolojik ölçümleri var, güneşi var, bağrından çıkmış yatırımcıları, girişimcileri var, kentleşmesi, sanayileşmesi sürüyor, nüfusu artıyor, ticareti gelişiyor… Şehircilikte aydınlatma, mimaride ısınma, tarımda kurutma yapılırken yıllık 3000 saat güneşiyle elektrik niye üretmesin? Batı yakasındaki tarıma elverişsiz arazi Fotovoltaik Güneş Elektriği üretmek için ideal. Yerli, yeterli, yeni ve yenilenebilir bir enerji! Ulusal olarak enerji ithalatçısı olduğumuz, dünyanın temiz kaynaklara yöneldiği bir dönemde güzel bir fırsat. Hele de 40 km doğuda, dünyanın en tartışmalı nükleer santrali Metzamor varken… Hayalim odur ki: bir hava aracı Iğdır'da kurulmuş dönümlerce büyüklüğündeki FV Güneş Elektrik Santrallerini ve Ermenistan'daki Metzamor nükleer santralini aynı karede fotoğraflayabilsin. Öyle güzel bir mesaj olur ki, dünyaya ve geleceğimize!...

Dr. Levent YALÇIN
Araştırmacı
Ekim 2016

GÜNDER ÖNSÖZ

Ülkemiz güneş enerjisi açısından çok avantajlı bir konumda olmasına rağmen bu enerjiden yeteri kadar yararlanamadığımız söylenebilir. Elbette güneş enerjisi dediğimizde sadece elektrik üretmeyi değil güneş enerjisi ile ısıtma soğutma ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerini de düşünmemiz gerek.

Elektrik konusunda önde gelen birkaç ülkeye baktığımızda tablo özetle şöyledir: 2014 yılı verilerine göre İtalya elektriğinin % 7,9'unu güneşten sağlıyor, bu rakam Yunanistan için % 7,6 Almanya için % 7,1'dir. Ülkemizde ise maalesef % 0,7 düzeyindedir.

Güneşten elektrik üretimi, günümüzde revaçta olan ve Güneş Enerjisi sektörünü domine eden bir alan olup ülkemiz için yeni ufuklar açmaktadır. Hem bu alanda yatırım yapmaya çalışan yatırımcılar hem de bu alanda malzeme üretimi yapan firmalar sektörün ana oyuncularıdır. Bu konunun bu kadar popüler olmasının temel nedeni 2009 yılından bu yana malzeme maliyetlerinde yaklaşık % 75 oranında düşüş sağlanması ve hücre verimliliklerinin artmasıdır. Ortalama bir tesiste bu günkü şartlarda 7-8 yıl içerisinde yatırılan parayı geri almamız mümkündür. Tesisin ömrünü 25-30 yıl olarak düşünürsek kalan sürede yatırılan paranın 3-4 katını kazanma olanağı vardır.

Kısaca yerli sanayinin ve Ar-Ge olanaklarının gelişmesi, çatıların kullanımının önündeki engellerin kaldırılması önümüzdeki 10 yıl içerisinde yaklaşık 20.000 MW'lık bir kurulu güç olanağı getirecektir. Hem YEKA bölgesi düzenlemeleri ve bu konuda çıkacak yönetmeliğin ve yarışma şartnamesinin 2017 yılı başına kadar yayınlanması ve yılbaşında yapılacak ihale ile 2018 yılında ülkemizde hücre üretiminin başlaması sektör adına önemli bir şans olacaktır.

Güneş enerjisi arz güvenliği açısından öneminin yanında yerel istihdama olan büyük katkısı, şebeke kayıp kaçaklarına olan pozitif etkisi, diğer enerji kaynaklarına göre daha ucuz elektrik üretim olanağı sağlaması ve ülkemizin enerjiden kaynaklanan cari açığının azaltılması açısından da çok büyük katkı sağlayacaktır.

GÜNDER; Türkiye'de güneş enerjisi sistemlerinin üretimi ve uygulamalarının yaygınlaştırılması yönünde çalışmalar yapmakta, ulusal ve uluslararası projelere katılarak değer yaratmaktadır. Sektörel gelişim ve bilgilendirme toplantıları, çeşitli eğitim, seminer, çalıştay, konferans ve benzeri faaliyetleri düzenleyerek ya da başka kuruluşlar tarafından düzenlenen faaliyetlere katılarak veya katkıda bulunarak, güneş enerjisi ile ilgili farkındalığın artması ve bu konudaki çabaların etkili hale gelmesini ve mevzuat gelişimine katkıları ile de sektörün sağlıklı büyümesini sağlamaya çalışmaktadır. Türkiye güneş enerjisi sanayisinin yurtdışındaki tanıtım faaliyetlerini de yürütmekte, ihracat odaklı uluslararası işbirliklerini geliştirmektedir.

Sayın Dr. Levent YALÇIN'ın yaptığı bu çalışmanın bölge için Güneş Enerjisi açısından stratejik bir yol haritası olduğu ve yatırım fırsatları açısından farkındalık yaratacak, alternatifleri gösteren önemli bir kaynak olduğu düşüncesindeyiz. Çalışmada emeği geçen ve katkı sağlayan tüm Güneş Enerjisi Dostlarına başta Sayın Dr. Levent YALÇIN'a ve böyle bir çalışmaya destek verdikleri, yaratılmasına önayak oldukları için Serhat Kalkınma Ajansı ve yetkililerine GÜNDER adına şükranlarımızı sunuyoruz.

Son söz : ''ENERJİMİZ GÜNEŞ OLSUN''

Faruk TELEMCİOĞLU
Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu
Türkiye Bölümü (GÜNDER)
Genel Sekreteri

Serhat Kalkınma Ajansı Yönetim Kurulu Başkanı Sunuşu

Son iki yüz yıllık döneme bakıldığında dünyanın teknolojik anlamda baş döndürücü bir şekilde geliştiğini görmekteyiz. Bu süreçte ihtiyaçlar değişmekte ve çeşitlenmekte, ihtiyaçları karşılayabilecek çözüm arayışları ise söz konusu değişimle birlikte yoğunlaşmaktadır.

21. yüzyılın en önemli ihtiyaçlarından birisi enerjidir. Bugün enerji yaşamımızın olmazsa olmaz bir ihtiyacıdır. Özellikle şehirlerde yaşayan insanların 10 dakikalık bir enerji kesintisine bile tahammül edemediği görülmektedir. Bu çerçevede enerji arzını güvenlik altına alan politikalara hemen hemen tüm devletlerin başvurduğu, hatta bu amaçla uluslararası çatışmaları göze aldığı bilinen bir gerçektir.

Enerji arzını güvenlik altına alabilecek politikalardan birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Günümüzde güneş, jeotermal, biyokütle, rüzgâr, dalga, akıntı gibi kaynakların elektrik enerjisine çevrilebildiği ve gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Bu açıdan yenilenebilir enerji, sürdürülebilir kalkınmanın da önemli bir göstergesi haline gelmiştir.

Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin olduğu bilinen bir gerçektir. İş bu çalışma, 3 değişik senaryoya göre güneş enerjisinden elektrik üretme potansiyeline sahip olan ve Türkiye'de en fazla güneşlenme süresine sahip illerin başında gelen Iğdır'ın durumunu irdelemekte ve potansiyelini ortaya çıkarmaktadır. Çalışmanın başta Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı olmak üzere ilgili kamu kurum ve kuruluşlarına Iğdır ile ilgili enerji çalışmalarında destek ve güneş enerjisinden elektrik üretmeyi planlayan yerli ve yabancı yatırımcılara rehber olması amaçlanmaktadır.

Son olarak çalışmanın fikir aşamasından ihale aşamasına, içeriğinin hazırlanmasından baskı aşamasına kadar emeği geçen Dr. Levent YALÇIN ve Metosfer Enerji firması çalışanlarına, SERKA Genel Sekreteri Doç. Dr. Hüsnü KAPU ve Iğdır Yatırım Destek Ofisi Koordinatörü Burak AYDOĞDU ile Iğdır Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Gökhan ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Ahmet Turgay ALPMAN
Iğdır Valisi
SERKA Yönetim Kurulu Başkanı

YÖNETİCİ ÖZETİ

Iğdır İli Güneş Enerjisinden Elektrik Üretme Potansiyelinin Tespitine Yönelik Araştırma Geliştirme Faaliyeti kapsamında **IĞDIR VE FV GÜNEŞ ELEKTRİĞİ** isimli bu rapor hazırlanmıştır. Bu ARaştırma-GEliştirme çalışması raporu, SERKA'nın TRA2 2014-2023 Bölge Planı Vizyonu dahilinde, çevresel sürdürülebilirlik adına "enerji kaynaklarının etkin kullanılması"; rekabet edebilirlik adına da "tabii kaynakların katma değerinin arttırılması" gerekliliğine dayanmaktadır. Iğdır'da bulunan ve potansiyel vaat eden enerji kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılmasını hedeflemektedir.

Dünya FV güneş elektriği pazarında, tüm elektrik talebini % 5 oranında FV güneş elektriğince karşılayan ülke sayısı hızla artıp Avrupa Birliği'nde de 2020 yılında % 10'ların üzerine çıkılacağı hedeflenirken, 2016 Yaz'ı itibariyle Türkiye henüz bu istatistiki tablolara dahi girememektedir. Dünya elektrik tüketimi sıralamasında, yıllık % 6'lık artış hızı ve 264 bin GWh/yıl ile ilk 20'de bulunan ülkemiz, birincil enerji arzını % 75 oranında fosil kaynakların ithalatıyla karşılamaktadır. Oysa Türkiye, enerji kaynaklı karbon salımını kişi başı 3,7 ton'dan, 2050'de 0,6 tona düşürmeyi taahhüt etmektedir. Bu dışa bağımlılık ve yüksek karbon salımı ekonomik, stratejik ve çevresel sorunlara sebep olmaktadır/olacaktır.

Bu kaygılarla 2005 yılından itibaren mevzuat düzenlemeleri yapılarak Türkiye'de ilk kez rüzgar enerjisinden elektrik üretmek isteyen girişimci/yatırımcılara 2007 yılında lisansları dağıtılmış; buradan edinilen tecrübe ve öğrenmelerle 2013 yılında güneşten elektrik üretimi için lisanslama süreci başlatılmıştır. ETKB, hem kamudaki yöneticileri hem de sektördeki ilgilileri bilgilendirmek ve yönlendirmek adına REPA ve GEPA çalışmalarını yapmış ve duyurmuştur. Piyasa idareci ve düzenleyicileri bu kaynakları referans alarak Türkiye'de rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretimi için yatırım yapılabilecek bölgeleri ve büyüklük sınırlarını ulusal boyutta belirlemişlerdir. Benzer potansiyel çalışmaları, farklı teknik ve yöntemler ile amaç özelinde hem ülkeler bazında ulusal ve bölgesel hem de uluslararası örgütler tarafından bölgesel ve küresel olarak yapılmaktadır. Bu tip çalışmaların ortak paydası ve hedef kitlesi ulusal, bölgesel veya küresel karar alma süreçlerini yürüten karar vericileri bilgilendirmek ve yönlendirmektir. Girişimci/yatırımcı için bu tip küçük ölçekli

çalışmalar yalnızca sorumlu oldukları sektör ve tüzel kişiliğin politikasını değerlendirirken yararlanılacak bir araç olarak işlev gösterebilmektedir. Yerele ve özele doğru inip, ölçeği büyüttükçe ilgili bölge ve sahaya has veri toplama, analiz ve potansiyel çalışmalarının yapılması gerekecektir. Nitekim Uluslararası Güneş Enerjisi Birliği (ISES) ve Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) Haziran 2016'da ortak bir çalışma yaparak, güneş enerjisi alanında veri kaynaklarına olan güveni artırma ve sağlıklı veri oluşturulmasına yönelik işbirliğinin geliştirilmesi adına IRENA Küresel Yenilenebilir Enerji Atlası'nda güneş enerjisi ile ilgili yer alan veri kaynakları ve araçlarını tanıtmışlar; veri sağlayıcıları da, kamuya açık olarak sağladıkları bu verileri nasıl topladıkları ve nasıl kullanılabileceğine dair ilgilileri bilgilendirme gereği duymuşlardır [6]. Yine Onuncu Kalkınma Planımızda, *akademik ve iş dünyasında FV güneş enerjisinden elektrik üretimine dair yapılmış çalışmaların hassasiyetlerinin artırımına ihtiyaç duyulmaktadır*! 4. Bileşen, Politika 1'de *rüzgar, güneş, biyokütle ve jeotermal kaynakların elektrik üretiminde kullanılmasına yönelik potansiyelin tam olarak tespit edilmesi* planlanmaktadır.

Bahsi geçen küresel ve ulusal çalışmalar ölçekleri ve yöntemlerinin doğası gereği fizibilite, proje veya büyük ölçekli coğrafik alan çalışmaları için yeterli detaya sahip olamazlar hatta yanılgılar barındırabilirler. Her çalışmada olduğu gibi, açıklanmış hata payları, ölçek büyüdükçe çok büyük sapma ve yanıltmalara sebebiyet verebilir. Bu nedenle, odaklanılmış bir coğrafik alan için ihtiyaca binaen özel veri toplama, analiz ve potansiyel çalışması yapılması gereği vardır. Küresel ve ulusal boyutta yayınlanmış bu çalışmalar altyapı, fizibilite, proje, girişim, yatırım, finans, destek ve kredilendirme kararlarını veren tüm mercileri doğruluğu oranında etkilemektedir.

GEPA'nın ulusal ölçekte bir çalışma olması ve tamamen doğrudan ölçüme değil bir güneşlenme şiddeti tahmin algoritmasına dayanması nedeniyle, açıklamasında da belirtildiği üzere, % 10'un üzerine çıkan oranlarda bazı noktalar için yanılgılar gösterebilmektedir. Özellikle bir mikro klima bölgesi olan Iğdır, kendisine has coğrafik ve meteorolojik özellikleri ile bilinmektedir. Bu hassasiyeti ulusal boyutta kolaylıkla göz ardı edilebilen Iğdır ve çevresi için GEPA'da Karadeniz Bölgesine tekabül eden bir yıllık küresel güneş ışıması değeri işaret edilmektedir. Bunun bir sonucu olarak, 2005 yılını, YEK kanununun çıkışını, bir milat kabul edersek, geride kalan 11 yıllık dönemde Iğdır'da ne lisanslı ne de lisanssız arazi veya çatı Fotovoltaik güneş elektrik santrali (FV GES) uygulamasına rastlanmamıştır. Münferit teklif ve girişimler ise **GEPA haritasının bu mavi gösterimi**ne (düşük güneş enerji şiddetine sahip bölge) takılmıştır.

Bir FV sistem performans tahmini yapabilmek için solar radyasyon (güneş ışıması) verisine ihtiyaç vardır. Dünyada farklı güneş ışıması veri kaynakları bulunur. Hiç biri kusursuz değildir. Her birini incelerken güçlü ve zayıf yönlerini iyi ayırt etmek gerekir. Bu araştırma geliştirme projesi kapsamında MGM doğrudan ölçüm verileri de dahil yaklaşık 10 ayrı yöntem ve kaynaktan Iğdır için FV güneş elektrik üretimine yönelik bir enerji potansiyeli çalışılmış; Iğdır'ın FV GES'ler için Türkiye'deki uygun bölgelerden biri olduğu ortaya çıkmıştır. Iğdır güneş enerjisi kapasitesi, Avrupa meteorolojik uydu verilerinden hesaplamayla çalışan

PVGIS'e göre 1618 kWh/m²-yıl; Avrupa Güneş Atlası HelioClim'e göre 1646 kWh/m²-yıl; NASA SSE'ye göre 1791 kWh/m²-yıl; SolarGIS' göre Avrupa yönünden 1600 kWh/m²-yıl İran yönünden 1650 kWh/m²-yıl; EİE 1983'e göre 1311 kWh/m²-yıl; DMİ Conformal Conic projeksiyonuna göre 1625 kWh/m²-yıl'dır. Bizzat bu araştırma dahilinde MGM verilerine dayandırılarak yapılan hesaplamalarda ise Iğdır küresel güneş ışıması değerinin 1636 kWh/m²-yıl olduğu hesaplanmıştır.

Üretilecek bu elektrik öz tüketim amaçlı kullanılabileceği gibi ihtiyaç fazlası da, FV GES işletmeye geçtiği tarihten itibaren 10 yıl süre ile görevli tedarik şirketleri vasıtasıyla 0,133 $c/kWh fiyattan alınır. Ayrıca FV GES'te belgelendirilmiş yerli aksam kullanılmış ise YEK Kanunu Ek-II sayılı cetvelinde yer alan fiyatlar beş yıl süreyle ilave edilir.

Bunlara ek olarak 2011 tarihli ETKB Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri belgesine göre Iğdır sınırları içerisinde ~13 km² FV GES alanı yatırım yapılabilir olarak görülmektedir. Müştemilatıyla birlikte 1 MW kurulum için 20.000 m² alana ihtiyaç duyulduğu varsayımıyla basit hesapla Iğdır'da 650 MW FV GES kurulumu yapılabilecek alan bulunmaktadır. Bu değer 600 MW açıklanan Türkiye lisanslı GES kapasitesinin tamamını karşılayacak bir büyüklüktür.

Güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi yatırım sürecinin ilk aşaması yatırım yeri seçimidir. Dünyadaki güneşten elektrik üretim yatırımlarının çoğunluğunun yüksek güneşlenme potansiyeline sahip, alternatif maliyetleri düşük, geniş ve düz araziler üzerine kurulu ve ağırlıklı olarak FV tarlalarından oluştuğu görülmektedir. Bu şartlar göz önüne alındığında, Iğdır İli başta güneşlenme potansiyeli ve elverişli arazilerin varlığı olmak üzere birçok bakımdan, güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesislerinin kurulması için ülkemizin uygun bölgelerinin başında gelmektedir. Iğdır'da henüz güneşten elektrik üretim yatırımı bulunmadığı göz önüne alındığında, Iğdır İlindeki arazi ve güneşlenme potansiyelinin bu şekilde akademik, teknik ve ekonomik olarak sayısal ifadelerle ortaya çıkarılmış olması karar vericiler açısından önem arz etmektedir. Yine tüm Türkiye için TEİAŞ tarafından açıklanan trafo kapasiteleri ve bu kapasitelerdeki kısıtlar henüz Iğdır için geçerli değildir!.

Çalışmadaki amaç, Iğdır'da FV yöntemle güneşten elektrik üretiminin teknik ve ekonomik olarak uygunluğunun varsa ortaya çıkarılması ve ETKB tarafından düzenli olarak yayınlanan "**Sisteme Bağlanabilecek Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kapasitesi İller Listesi"nde Iğdır İli'nin yer alabilirliğinin analizi**nin de yapılmasıdır. Çalışmanın çıktılarının tüm ilgilileri daha doğru kararlar almaya iteceği kaçınılmazdır. Sonuç ve önerilerin etkisi olarak, Kamu karar vericilerinin Iğdır'ı FV güneş elektriğine yatırım yapılabilir bir il olarak tanımaları; Iğdırlı girişimciler ve Iğdır'a yatırım yapması muhtemel yerli ve yabancı yatırımcıların bölgeyi tercih etmeleri ve yatırım kararı almaları; finans ve destek kuruluşlarının bu konudaki teklifleri olumlu karşılamaları beklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

Önsöz i
GÜNDER Önsöz ii
Serhat Kalkınma Ajansı Yönetim Kurulu Başkanı Sunuşu v
Yönetici Özeti vi
İçindekiler xi
Şekiller Dizini xiv
Tablolar Dizini xvii
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini xix
1. GİRİŞ VE GENEL BİLGİ 1
1.1. Dünyada FV Güneş Elektriği 4
1.2. Türkiye'de Enerji, Yenilenebilir Enerji ve Güneş Enerjisi 11
1.3. YEK Mevzuatı 17
1.3.1. Uluslararası belgeler 17
1.3.2. Ulusal belgeler 17
1.3.3. Bölgesel belgeler 21
1.3.4. Kanun, yönetmelik, tebliğ 23
2. IĞDIR'IN COĞRAFİK VE METEOROLOJİK ANALİZİ 28
2.1. Fiziki ve Coğrafi Analiz 28
2.1.1. Tarih 28
2.1.2. Coğrafya 28
2.1.3. Topoğrafya ve jeomorfoloji 29
2.1.4. Toprak yapısı ve arazi kullanımı 30
2.1.5. Korunan alanlar 33
2.1.6. Hava kalitesi ve karbon salımı 34
2.1.7. Su kaynakları ve kalitesi 34
2.1.8. Nüfus ve idari yapı 34
2.1.9. Ekonomi 35
2.2. Meteorolojik Analiz 37
2.2.1. İklim 37
2.2.2. Basınç 40

2.2.3. Sıcaklık 40
2.2.4. Nispi nem 42
2.2.5. Toprak üstü minimum sıcaklık 42
2.2.6. Rüzgar 44
2.2.7. Bulut kapalılığı 44
2.2.8. Yağış 47
2.2.9. Güneşlenme süresi 47
2.2.10. Küresel güneş ışıması 48
3. FV GÜNEŞ ELEKTRİĞİ TEKNOLOJİSİ 50
3.1. Tarihçe 50
3.2. İlke 51
3.3. FV Türleri 56
3.4. FV Sistem Bileşenleri 59
3.5. Standartlar 60
3.6. Testler 63
3.7. Uygulama 63
3.7.1. Şebekeli ve şebekesiz FV GES 66
3.7.2. Lisanslı ve lisanssız FV GES 67
3.8. Kurulum ve sonrası 67
3.8.1. İstihdam 67
3.8.2. Temizlik, bakım, arıza 70
3.8.3. FV garanti ve sigortalama 71
4. IĞDIR'IN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ 74
4.1. GEPA ile Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli 80
4.2. GEPA ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli 83
4.3. PVGIS ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli 90
4.4. HelioClim ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli 95
4.5. NASA SSE ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli 95
4.6. SOLARGIS ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli 97
4.7. MGM verileri ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli 100
4.7.1. MGM güneş ölçümleri ve güneş enerjisi potansiyeli çalışmaları 100
4.7.2. Iğdır Meteoroloji Müdürlüğü güneş ölçümleri 107
4.7.3. Iğdır'ın teorik güneş enerjisi potansiyeli 110
4.7.4. Iğdır'ın saha güneş enerjisi potansiyeli 113
4.8. Iğdır'ın Uygulama Güneş Enerjisi Potansiyeli 119

5. IĞDIR'IN FV GÜNEŞ ELEKTRİĞİNE YAPISAL UYGUNLUĞU 121
5.1. Elektriksel Alt Yapı 121
5.2. Arazi Uygunluğu 123
5.3. Çevresel Etki Değerlendirme 127
5.4. Teşvik ve Destekler 127
5.5. Finansal Analiz 130
6. SENARYOLAR VE SİMÜLASYONLAR 132
6.1. Esas Senaryo 133
6.2. Kötümser Senaryo 137
6.3. İyimser Senaryo 139
7. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER 143
EKLER 152
KAYNAKLAR 153
HAKKIMIZDA 158
YASAL UYARI 160
TEŞEKKÜR 160

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1-1 (a) Dünya yenilenebilir enerji 2014 payları....5

Şekil 1-2 FV güneş elektriği küresel kapasitesi ve yıllık artışlar, 2005-2015 [8]....6

Şekil 1-3 Dünya FV güneş elektriği ilk on ülke kurulu güç sıralaması, 2015 eklemesiyle [8]....6

Şekil 1-4 Küresel FV güneş elektrik pazarında en büyük 10 ülkenin payları [8]....7

Şekil 1-5 2020'ye kadar küresel toplam FV güneş elektriği yıllık kurulum artış senaryoları [12]....8

Şekil 1-6 En büyük FV ülke pazarlarının 5 yıllık yüksek ve düşük büyüme tahminleri, 2016-2020 [12]....9

Şekil 1-7 Avrupa FV kurulu gücünün 2015 yılı elektrik talebine katkısı [12]....10

Şekil 1-8 FV güneş elektriği seviyelendirilmiş maliyet değişimi, 2009-2014 [15]....11

Şekil 1-9 Elektrik üretiminde ilk 20 ülke, 2014 verileri [9]....12

Şekil 1-10 Elektrik üretiminden kaynaklanan karbon salımının yıllara göre dağılımı [22]....14

Şekil 1-11 2016 yılı Mayıs ayı ve öncesi 24 aylık dönemde güneş enerjisi ile gerçekleştirilen elektrik üretimi....15

Şekil 1-12 FV GES başvurularının iller bazında dağılımı, Mayıs 2016 [23]....16

Şekil 2-1 Iğdır ve Türkiye'deki konumu....29

Şekil 2-2 Doğu Anadolu Diri Fay Haritası, MTA Bölge Müdürlüğü, 2011 [57]....30

Şekil 2-3 Çayır mera ve alt bölge alanları....33

Şekil 2-4 Aydeniz'e göre Türkiye İklimi [61]....38

Şekil 2-5 Iğdır rüzgar diyagramı ve hakim rüzgar yönü....39

Şekil 2-6 Iğdır aylık ortalama sıcaklık değerlerinin yıllık ortalaması dağılımı ve eğilimi (MGM)40

Şekil 2-7 Iğdır'ın yıl içerisinde ve son 10'ar yıllık periyotlarda basınç değişimi....41

Şekil 2-8 Iğdır'ın 1970'ler ile 2000'ler arası sıcaklık değişimi....41

Şekil 2-9 Iğdır'ın yıl içerisinde ve son 10'ar yıllık periyotlarda nem değişimi....43

Şekil 2-10 Iğdır'ın yıl içerisinde ve son 40 yılda toprak üstü minimum sıcaklık değişimi....43

Şekil 2-11 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1990'lar ile 2000'ler arasında rüzgar hızı değişimi....46

Şekil 2-12 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1970'ler ile 2000'ler arasında bulut kapalılığı değişimi....46

Şekil 2-13 Iğdır yıllık toplam yağış verilerinin dağılımı ve eğilimi (MGM)....47

Şekil 2-14 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1970'ler ile 2000'ler arasında yağış değişimi 47

Şekil 2-15 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1980'ler ile 2000'ler arasında güneşlenme süresi değişimi... 49

Şekil 2-16 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1970'den 2010'a küresel güneş ışıması değişimi 49

Şekil 3-1 Becquerel'in ilk basit FV pili, 1873 50

Şekil 3-2 Fotovoltaik etki [62] 52

Şekil 3-3 Hücreler modülü, modüller dizeyi oluşturur [62] 52

Şekil 3-4 FV hücrelerin seri bağlantısı 53

Şekil 3-5 FV modül hücrelerinin seri ve paralel bağlantı ile akım gerilim ayarlaması [64] 54

Şekil 3-6 Bir hücrenin örnek akım-gerilim grafiği 55

Şekil 3-7 Tipik bir FV modül etiketi 56

Şekil 3-8 FV yapıların birim alanda yıllık elektrik üretebilme kapasiteleri, GEPA [3] 57

Şekil 3-9 Tek kristalli FV yapı 57

Şekil 3-10 Çoklu kristal FV yapı 58

Şekil 3-11 Çeşitli elektrik üretim teknolojilerinin GWh başına yarattığı iş miktarı [74] 68

Şekil 4-1 Dr. Alfred Müller Helyograf [78] 75

Şekil 4-2 Dr. Alfred Müller Aktinograf [78] 75

Şekil 4-3 Kipp&Zonen CM11 Piranometre [78] 75

Şekil 4-4 Elektromanyetik tayf 76

Şekil 4-5 Yön (A), yükseklik (h) ve geliş (z) açılarının gösterimi 77

Şekil 4-6 Işınların atmosferde izlediği Yol 78

Şekil 4-7 YEGM Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) 81

Şekil 4-8 GEPA ay içerisindeki bir günlük toplam güneş radyasyonu 82

Şekil 4-9 Ay içerisindeki bir günlük toplam güneşlenme süresi 83

Şekil 4-10 Türkiye haritasında denizden yükseklik artışı ile güneş enerjisi potansiyel artışı ilişkisi 84

Şekil 4-11 GEPA Iğdır güneş enerjisi potansiyeli 85

Şekil 4-12 GEPA Iğdır ay bazlı günlük ortalama güneşlenme süreleri, saat 86

Şekil 4-13 GEPA Iğdır ay bazlı günlük küresel radyasyon (güneş ışıması), 4 kWh/m^2 87

Şekil 4-14 PVGIS-3 ve PVGIS-CMSAF arasındaki radyasyon değişimi, Avrupa 92
Şekil 4-15 PVGIS-3 ve PVGIS-CMSAF arasındaki radyasyon değişimi, Türkiye 92
Şekil 4-16 PVGIS Avrupa güneş enerjisi potansiyel haritası [86] 93
Şekil 4-17 PVGIS güneş enerjisi potansiyeli haritasında Türkiye ve Iğdır'ın 20° ile konumlanışı 94
Şekil 4-18 PVGIS güneş enerjisi potansiyeli haritasının ekvatora paralel duruşu 94
Şekil 4-19 SolarGIS Almanya güneş enerjisi potansiyeli 97
Şekil 4-20 SolarGIS Avrupa ve Türkiye güneş ışıma potansiyeli [89] 98
Şekil 4-21 SolarGIS Türkiye küresel yatay radyasyon (güneş ışıması) haritası [89] 99
Şekil 4-22 SolarGIS İran küresel yatay radyasyon haritası [89] 100
Şekil 4-23 Türkiye güneş enerjisi alansal ve zamansal dağılımı, 10^7 TET [79] 103
Şekil 4-24 Türkiye yıllık ışıma şiddeti haritası, cal/cm^2-gün [79] 104
Şekil 4-25 MGM Türkiye yıllık toplam güneşlenme süreleri [94] 106
Şekil 4-26 MGM Türkiye yıllık toplam güneş radyasyonu (CAR modeline göre) [94] 106
Şekil 4-27 Gözlenen güneşlenme şiddeti ile GWR model çıktısı arasındaki kalıntı haritası [94] 107
Şekil 4-28 Google Earth aracılığıyla 1000 m'den Iğdır Meteoroloji İstasyonu 108
Şekil 4-29 Google Earth aracılığıyla 1000 m'den IMM rasat parkı yatay engel analizi 109
Şekil 4-30 IMM rasat parkı dikey engel analizi 109
Şekil 4-31 Iğdır Güneşlenme süresi ve Küresel güneş ışıması, 1990-2009 119
Şekil 5-1 Iğdır GES kurulumu için arazi uygunluğu 125
Şekil 5-2 FV panellerin son on yıldaki maliyet (kW/$) ve kurulu güç (MW) seyri 131

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1-1 Avrupa FV pazarında projeksiyonlar [12] 9

Tablo 1-2 2005 – 2014 Yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji tüketimi [18] 13

Tablo 1-3 Lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı, 2016 Haziran [19] ve 2015 elektrik üretimleri [20] 13

Tablo 1-4 2016 Yılı Haziran ayı sonu itibariyle lisanssız elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı, MWe [19] 15

Tablo 1-5 Haziran 2016 döneminde lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı, MWh [19] 15

Tablo 1-6 FV GES başvurularında son durum [23] 16

Tablo 2-1 İlçelerin merkeze uzaklıkları ve yüzölçümleri [56] 29

Tablo 2-2 Iğdır İli toprak sınıflarına göre arazi kullanım durumu [58] 31

Tablo 2-3 Iğdır mahalli idareler nüfus durumu 35

Tablo 2-4 Çeşitli yöntemlere göre hazırlanmış iklim sınıflandırmaları 1/2 37

Tablo 2-5 Çeşitli yöntemlere göre hazırlanmış iklim sınıflandırmaları 2/2 37

Tablo 2-6 Kaydedilen uç ve ortalama değerler (veri aralığı 1940-2013) 39

Tablo 3-1 FV güneş elektrik sistemleri için standartlar 61

Tablo 4-1 15 °C sıcaklıkta bazı yükseklik değerlerine ait hava basıncı ve yoğunluğu 77

Tablo 4-2 GEPA aylık ve yıllık güneşlenme süresi (saat) en yüksek 10 il 86

Tablo 4-3 GEPA küresel radyasyon (güneş ışıması) aylık ve yıllık en yüksek 46 il, 4 kWh/m^2 ... 88

Tablo 4-4 Rakımı 1000 m üzerinde olan 24 ilin, ışıma ve güneşlenme süresi açısından ilk 24 il ile karşılaştırması 89

Tablo 4-5 PVGIS küresel güneş ışıması değerleri, kWh/m^2 95

Tablo 4-6 Iğdır için HelioClim uydu izlemeli FV güneş elektrik potansiyeli, kWh/m^2-yıl 95

Tablo 4-7 SSE Iğdır güneş enerjisi potansiyeli 96

Tablo 4-8 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [79] 102

Tablo 4-9 Türkiye coğrafi bölgeler güneşlenme süresi ve güneş ışıması [79] 102

Tablo 4-10 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (DMİ) 105

Tablo 4-11 Teorik güneşlenme süresi, Saat-Gün [95] 111

Tablo 4-12 Teorik küresel güneş ışıması, kWh/m^2-gün [95] 112

Tablo 4-13 MGM Ortalama güneşlenme süresi, Saat, 1970-2009 114

Tablo 4-14 MGM Ortalama güneşlenme süresi, Saat, 1990-2009 115

Tablo 4-15 MGM Ortalama küresel güneş ışıması, kWh/m^2, 1970-2010 116

Tablo 4-16 MGM Ortalama küresel güneş ışıması, kWh/m^2, 1990-2010 117

Tablo 4-17 Iğdır Güneşlenme süresi ve Küresel güneş ışıması, 1990-2009 118

Tablo 4-18 Farklı kaynak ve farklı yöntemlere göre Iğdır'ın uygulamaya yönelik güneş enerjisi potansiyeli 120

Tablo 5-1 Güneş enerjisi yatırımları için dikkate alınan parametreler ve Iğdır'daki değerleri 122

Tablo 5-2 Iğdır için yararlanılabilecek kamusal teşvik ve destekler 129

Tablo 5-3 GES sistem unsurları ve yatırım maliyeti içerisindeki payları 130

Tablo 6-1 Esas Senaryo Gold Standard karbon kredi hesaplaması 134

Tablo 6-2 Esas Senaryo küresel güneş ışıması, kWh/m^2 135

Tablo 6-3 Esas Senaryo 1000 kW FV GES meteorolojik ve elektriksel sonuçlar, PVSYST 136

Tablo 6-4 Kötümser Senaryo Gold Standard karbon kredi hesaplaması 137

Tablo 6-5 Kötümser Senaryo küresel güneş ışıması, kWh/m^2 (1990-2010) 138

Tablo 6-6 Kötümser Senaryo 1000 kW FV GES meteorolojik ve elektriksel sonuçlar, PVSYST 139

Tablo 6-7 İyimser Senaryo Gold Standard karbon kredi hesaplaması 140

Tablo 6-8 İyimser Senaryo küresel güneş ışıması, kWh/m^2 (1990-2010) 141

Tablo 6-9 İyimser Senaryo 1000 kW FV GES meteorolojik ve elektriksel sonuçlar, PVSYST.. 142

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$	ABD Doları
A	Azimut (yön açısı)
AA	Alternatif Akım
Ah	Amper saat
AM	Hava Kütlesi (Air Mass)
AR5	IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu
BIPV	Binaya tümleşik FV sistem (Building Integrated Photovoltaic)
Bkz.B:	İlgili bölüm numarasına bakınız
BM	Birleşmiş Milletler
BM-İDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BOS	Denge bileşenleri (Balance of System)
cal/cm^2-gün	Bir günde santimetrekareye gelen kalori enerji
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CdS	Cadmium-Selenide
CdTe	Kadmiyum Tellür (Cadmium Tellur)
CE	Conformité Européenne
CIS	Bakır İndiyum Diselenit (Cupper Indium Selenid)
CPV	Yoğunlaştırılmış FV (Concentrated Photovoltaic)
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
DA	Doğru Akım
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DMT	Dünya Meteoroloji Teşkilatı (World Meteorological Organization, WMO)
DNI	Direct Normal Irradiation
Dr.LY	Dr. Levent YALÇIN, Yazarın notu
EC JRC	Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi
EİE	Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü
EN	Avrupa Standardı (European Norm)
EPC	Mühendislik, Tedarik, Kurulum, MTK (Engineering Procurement and Construction)
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
FV	Fotovoltaik
FV GES	Fotovoltaik Güneş Elektrik Santrali
FVGSP S3	Fotovoltaik Güç Sistemi Personeli Seviye 3
FVGSP S4	Fotovoltaik Güç Sistemi Personeli Seviye 4
FVGSP S5	Fotovoltaik Güç Sistemi Personeli Seviye 5
GaAs	Galyum Arsenit

GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	Güneş Elektrik Santrali
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Milli Hasıla
GW	GigaWatt
HDİP	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)
HES	Hidro Elektrik Santrali
I	Akım
I-V	Akım-Gerilim
IEC	The International Electrotechnical Commission
I_{MP}	En yüksek güç akımı (maximum power current)
INDC	Kesin Katkılar için Ulusal Niyet Beyanı
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, HDİP (Intergovernmental Panel on Climate Change)
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
I_{sc}	Kısa devre akımı (short circuit current)
ISES	Uluslararası Güneş Enerjisi Birliği
ISO	International Standard Organization
İDEP	Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı
İDES	Türkiye Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi
İDUSEP	İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı
kcal/cm^2-ay	Aylık santimetrekareye gelen kilokalori enerji
KGI	Küresel güneş ışınımı/ışıması
kW/kişi	Kişi başına düşen kilovat güç
kWh y^{-1}	Bir yılda düşen kilovat saat enerji
kWh/kWp	Tepe kilovat başına kilovat saat
kWh/kWp/gün	Bir günde tepe kilovat başına düşen kilovat saat
kWh/kWp/yıl	Bir yılda tepe kilovat başına düşen kilovat saat
kWh/m^2/ay	Bir ayda bir metrekareye düşen kilovat saat enerji
kWh/m^2/gün	Bir günde bir metrekareye düşen kilovat saat enerji
kWh/m^2/yıl	Bir yılda bir metrekareye düşen kilovat saat enerji
kWp	Tepe kilovat
LCOE	Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Levelized Cost of Energy)
LÜY	Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği
MESIA	Orta Doğu Güneş Enerjisi Birliği
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MJ/m^2/gün	Günde metrekareye düşen megajul enerji
MPP	Maksimum Çalışma Noktası (Maximum power point)
MPPT	Maksimum güç noktası yakalayıcı (Maximum power point tracker)
Mtep	Milyon ton eşdeğeri petrol
MYK	Mesleki Yeterlilik Kurumu
N	Negatif
NaCl	Sodyum Klorür

NOCT	Normal işletim FV hücre sıcaklığı (Normal Operating Cell Temperature)
NREL	Amerika Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuarı (National Renewable Energy Laboratories)
OG	Orta Gerilim
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
P	Pozitif
PR	Performans oranı (performance ratio)
PMUM	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
Si	Silisyum
STC	Standart deney şartları, SDŞ (Standard Test Conditions)
TBMM	Türkiye Büyük Millet Meclisi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü
TEP	Ton Eşdeğeri Petrol
TET	Ton Eşdeğeri Taşkömürü
TL/Wp	En yüksek güç (peak Watts) başına para birimi (TL)
TS	Türk Standardı
TWh	Tera Watt saat
UEA FVGS	Uluslararası Enerji Ajansı Fotovoltaik Güç Sistemleri
V_{MP}	En yüksek güç gerilimi (maximum power voltage)
V_{oc}	Açık devre gerilimi (open-circuit voltage)
W/m^2	Metrekareye düşen vat saat güç
Wh/m^2	Metrekareye düşen vat saat enerji
Wh/m^2 gün	Metrekareye bir günde düşen vat saat enerji
Wm^{-2}	Metrekareye düşen vat saat güç
WNW	Batı-Kuzey-Batı (West-North-West)
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
YG	Yüksek Gerilim
YİD	Yap-İşlet-Devret
z	Zenit (güneşin geliş açısı)

1. GİRİŞ VE GENEL BİLGİ

İnsanlığın ekonomik ve sosyal gelişimini sürdürülebilir kılmanın en temel gereksinimi enerjidir. Bu yaklaşımla enerji, sosyo-ekonomik bir kavramdır. Özellikle elektrik enerjisi hemen hemen tüm mal ve hizmet üretiminin ana girdisidir. Bu sebeple enerjinin kesintisiz, güvenilir ve ekonomik olması esastır. Artan nüfus ve ekonomik büyümeye paralel olarak büyüyen mal ve hizmet talebi, elektrik enerjisi talebini de artırmaktadır. Bu talebi karşılayacak mal ve hizmet arzını sürekli kılabilmek adına elektrik enerjisi arzını da doğru orantıda büyütmek zorunluluğu vardır. Dünya sanayi devriminden 20. Yüzyıl sonlarına kadar bu ihtiyacını zamanın konvansiyonel enerji kaynakları olan kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynaklardan ve nükleer enerjiden karşılamıştır.

İnsan sağlığına zarar veren hava kirliliği ve tüm canlı hayatı olumsuz etkileyen iklim değişikliği gibi küresel sorunlara sebep olduğu ispatlanmış konvansiyonel enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması hem bilimsel olarak hem de uluslararası sözleşmeler gereği artık bir zorunluluktur. Konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenebilir olması, nükleer enerjinin de geçmişte insanlığa yaşattığı acı tecrübelerden kaynaklı risk taşıması, insanlığı yeterli, kaliteli, sürekli, ucuz tanımlamalarının yanında temiz ve kendisini yenileyebilen enerji kaynaklarına yöneltmiştir (Bkz.B:1.1).

Enerji, uluslararası olduğu kadar ülkemiz ekonomi ve strateji gündeminde de önemli bir yer tutmaktadır. Son on yılda elektrik tüketimi iki katına çıkmıştır (Bkz.B:1.2). Nitekim gelişen bir ülke olarak Türkiye'de kişi başına düşen elektrik tüketimi 2003 yılında 1,8 kWh'den 2013 yılında 2,8 kWh'e çıkmıştır [1]. Bu talep artışını kesintisiz karşılayabilmek için, konvansiyonel öz kaynakları kısıtlı olan Türkiye, enerji ithalatına yönelmiştir. Büyük oranda ithalatla sağlanan enerji arzı mal ve hizmet üretimi yanında cari açığı da büyütmüştür. Enerji ithalatı Türkiye'nin dış dengesizliklerinde önemli ölçüde pay sahibidir. Ortalama yıllık enerji ithalatı, mal ithalatının yaklaşık yüzde 23'ünü oluştururken, yıllık dış enerji açığı, toplam ticaret açığının yüzde 58'ini oluşturmaktadır [2]. Ekonomik olarak mali bir yük kalemi olan ithal enerji, stratejik olarak da ülke yönetimi ve geleceği için çözülmesi gereken bir problemdir. Bu sebeplerden dolayı, ihracatta rekabetçi güce sahip olunması ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması doğrultusunda ulusal politikamız şekillendirilmiştir (Bkz.B:1.3.2).

Ülkemizde 1980'li yıllarda başlayan elektrik piyasası yeniden yapılanma gayretleri, 2001 yılında yürürlüğe giren Elektrik Piyasası Kanunu, alt mevzuatı ve muhtelif zamanlardaki revizyonları aracılığıyla, özelleştirme ve serbestleştirme ilkesi doğrultusunda, elektriğin

üretimi, iletimi, dağıtımı, tedariği ve ticaretinin özel sektör yatırımcılarının ağırlıklı olduğu yeni bir piyasaya dönüşmesiyle son bulmuştur. Bu piyasanın düzenlenme, denetim ve iletim sorumluluğu kamu; üretimin büyük bir kısmı ile dağıtım ve ticareti gibi tüketiciye sunulması ise özel sektör marifetiyle yürütülmektedir (Bkz.B:1.2). Ayrıca piyasa işletim lisansında yer alan enerji piyasalarının etkin, şeffaf, güvenilir ve enerji piyasasının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde planlanması, kurulması, geliştirilmesi ve işletilmesi için 18 Mart 2015'te bir enerji piyasası işletmecisi olarak Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPİAŞ) kurulmuştur.

Konvansiyonel kaynakların kısıtlı oluşu, iklim değişikliğine sebebiyet veren küresel ısınmanın durdurulması/azaltılması çabaları ile ekonomik ve stratejik kaygılar uluslararası camia gibi Türkiye'nin de ilgisini alternatif enerji kaynaklarına çekmiştir. Bu kapsamda uluslararası sözleşmeler imzalanmış, taahhütler duyurulmuştur. Ulusal anlamda da yerli, yeterli, yeni, yenilenebilir enerji kaynaklarının tespiti, çeşitlendirilmesi, potansiyelinin ortaya çıkarılması, teknoloji ve tekniğinin geliştirilmesi ile piyasaya kazandırılarak kaliteli, sürekli, ekonomik, temiz ve yenilenebilen kaynaklarla sektörün geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu yaklaşımla 2005 yılında YEK kanunu yürürlüğe girmiş, çeşitli kaynaklar özelinde lisanslama, teşvik ve destek mekanizmaları çalıştırılmıştır (Bkz.B:1.3).

İlk olarak rüzgar enerjisinden elektrik üretmek isteyen girişimci/yatırımcılara 2007 yılında lisansları dağıtılmış; buradan edinilen tecrübe ve öğrenmelerle 2013 yılında güneşten elektrik üretimi için lisanslama süreci başlatılmıştır. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), hem kamudaki yöneticileri hem de sektördeki ilgilileri bilgilendirmek ve yönlendirmek adına Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) ve Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) çalışmalarını yapmış ve duyurmuştur [3]. Piyasa idareci ve düzenleyicileri bu kaynakları referans alarak Türkiye'de rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretimi için yatırım yapılabilecek bölgeleri ve büyüklük sınırlarını ulusal boyutta belirlemişlerdir [4]. Benzer potansiyel çalışmaları, farklı teknik ve yöntemler ile amaç özelinde hem ülkeler bazında ulusal ve bölgesel hem de uluslararası örgütler tarafından bölgesel ve küresel olarak yapılmaktadır. Bu tip çalışmaların ortak paydası ve hedef kitlesi ulusal, bölgesel veya küresel karar alma süreçlerini yürüten karar vericileri bilgilendirmek ve yönlendirmektir. Girişimci/yatırımcı için bu tip küçük ölçekli çalışmalar yalnızca sorumlu oldukları sektör ve tüzel kişiliğin politikasını değerlendirirken yararlanılacak bir araç olarak işlev gösterebilmektedir. Yerele ve özele doğru inip, ölçeği büyüttükçe ilgili bölge ve sahaya has veri toplama, analiz ve potansiyel çalışmalarının yapılması gerekecektir [5]. Nitekim Uluslararası Güneş Enerjisi Birliği (ISES) ve Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) Haziran 2016'da ortak bir çalışma yaparak, güneş enerjisi alanında sağlıklı veri oluşturulmasına yönelik işbirliğinin geliştirilmesi adına IRENA Küresel Yenilenebilir Enerji Atlası'nda güneş enerjisi ile ilgili yer alan veri kaynakları ve araçlarını tanıtmışlar; veri sağlayıcıları da, kamuya açık olarak sağladıkları bu verileri nasıl topladıkları ve nasıl kullanılabileceğine dair ilgilileri bilgilendirme gereği duymuşlardır [6]. Yine Onuncu Kalkınma Planımızda akademik ve iş dünyasında Fotovoltaik (FV) güneş elektriğinden elektrik üretimine dair yapılmış çalışmaların hassasiyetlerinin artırımına ihtiyaç

duyulmaktadır! 4. Bileşen, Politika 1'de "rüzgar, güneş, biyokütle ve jeotermal kaynakların elektrik üretiminde kullanılmasına yönelik potansiyelin tam olarak tespit edilmesi, bu kapsamda jeotermal aramaların hızlandırılması" planlanmaktadır [7].

Eski adıyla Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), 2 Kasım 2011'den itibaren güncellenmiş yapısı ve ismiyle Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), güneş enerjisi özelinde ülke potansiyelini belirlemek adına çalışmalar yapmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) de yaklaşık 100 yıldır yurdun farklı noktalarında, farklı amaçlara odaklanan, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ana girdisini oluşturan ve elektrik üretim sistemlerinin performanslarını doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen meteorolojik parametrelerin ölçümünü ve gözlemini rasat etmektedir. Bahsi geçen küresel ve ulusal çalışmalar ölçekleri ve yöntemlerinin doğası gereği fizibilite, proje veya büyük ölçekli coğrafik alan çalışmaları için yeterli detaya sahip olamazlar hatta yanılgılar barındırabilirler. Her çalışmada olduğu gibi, açıklanmış hata payları, ölçek büyüdükçe çok büyük sapma ve yanıltmalara sebebiyet verebilir. Bu nedenle, odaklanılmış bir coğrafik alan için ihtiyaca binaen özel veri toplama, analiz ve potansiyel çalışması yapılması gereği vardır [5]. Küresel ve ulusal boyutta yayınlanmış bu çalışmalar altyapı, fizibilite, proje, girişim, yatırım, finans, destek ve kredilendirme kararlarını veren tüm mercileri doğruluğu oranında etkilemektedir. Güncel bir örnek vermek gerekirse, Konya ve Karaman bölgesi GEPA'da güneşten elektrik elde etmede Türkiye'deki en verimli coğrafik alan olarak gösterilmektedir [3]. Bu sayede lisans edinme aşamasında tüm Türkiye'deki 496 başvurunun 200'e yakını buradaki trafo bölgelerine olmuştur. Bunun beraberinde getirdiği olumlu hava lisanssız Güneş Elektrik Santrali (GES) başvurularında da Konya bölgesinin en rağbet edilen bölge olmasını sağlamıştır. Bununla da kalmamış Türkiye'deki ilk Enerji İhtisas Bölgesi, yine Konya Karapınar'da 27 milyon m^2 yüzölçümüne sahip "Karapınar Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı" (YEKA) olarak ilan edilmiştir. FV panel üreticilerinin de üretim tesislerini -ki Konya yalnızca 2. teşvik bölgesidir- bu bölgede kurmaları, Üniversitede lisans, yüksek lisans eğitimleri, meslek yüksekokulları, kurslar vb'lerinin açılması da doğrudan bununla ilişkilidir.

GEPA'nın ulusal ölçekte bir çalışma olması ve tamamen doğrudan ölçüme değil bir güneşlenme şiddeti tahmin algoritmasına dayanması nedeniyle, açıklamasında da belirtildiği üzere, % 20'ye varan oranlarda bazı noktalar için yanılgılar gösterebilmektedir (Bkz.B:4.1 ve 4.2). Özellikle bir mikro klima bölgesi olan Iğdır, kendisine has coğrafik ve meteorolojik özellikleri ile bilinmektedir (Bkz.B:2.1). 2005 yılını, YEK kanununun çıkışını bir milat kabul edersek, geride kalan 11 yıllık dönemde Iğdır'da ne lisanslı ne de lisanssız arazi veya çatı Fotovoltaik Güneş Elektrik Santrali (FV GES) uygulamasına rastlanmamıştır. Münferit teklif ve girişimler ise GEPA haritasının mavi gösterimine takılmıştır (Şekil 4-7).

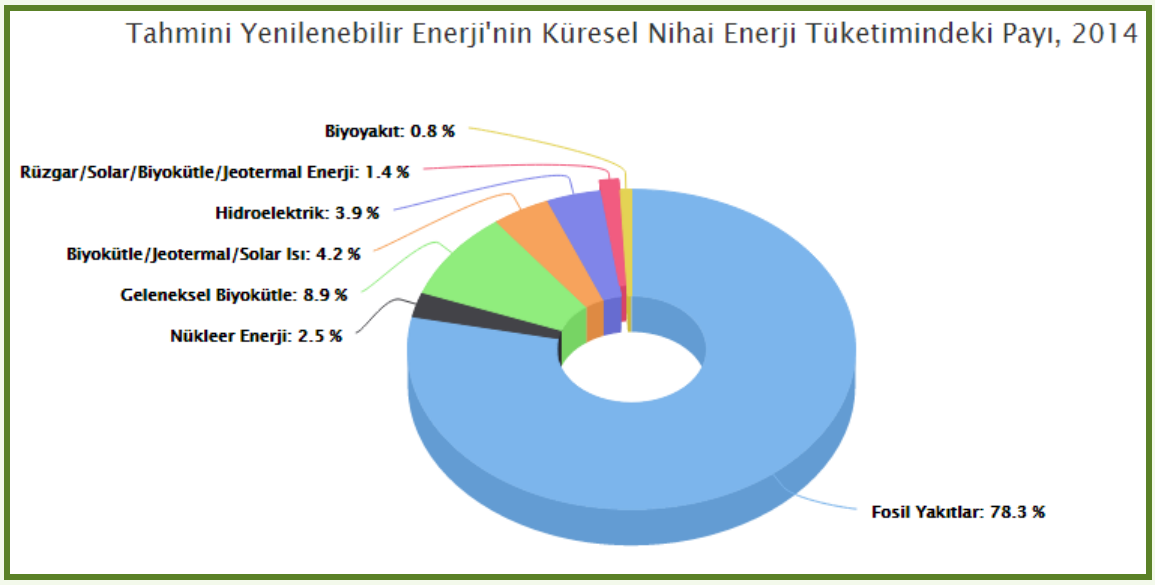
Bu **Çalışmadaki amaç,** Iğdır'da FV yöntemle güneşten elektrik üretiminin teknik ve ekonomik olarak uygunluğunun ortaya çıkarılması ve ETKB tarafından düzenli olarak yayınlanan "**Sisteme Bağlanabilecek Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kapasitesi İller Listesi"nde Iğdır İli'nin yer alabilirliğinin teknik olarak analizi**nin yapılmasıdır. Çalışmanın çıktılarının tüm ilgilileri daha doğru kararlar almaya iteceği kaçınılmazdır. Sonuç

ve önerilerin etkisi olarak, Kamu karar vericilerinin Iğdır'ı FV güneş elektriğine yatırım yapılabilir bir il olarak tanımaları; Iğdırlı girişimciler ve Iğdır'a yatırım yapması muhtemel yerli ve yabancı yatırımcıların bölgeyi tercih etmeleri ve yatırım kararı almaları; finans ve destek kuruluşlarının bu konudaki teklifleri olumlu karşılamaları beklenmektedir.

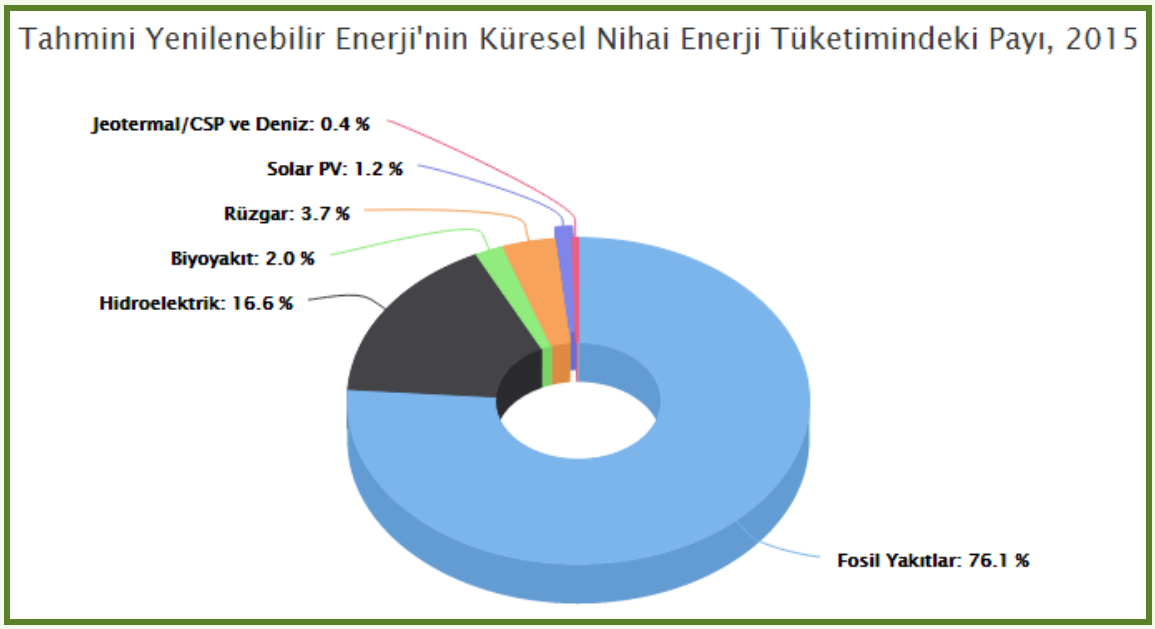
Bu çalışmada yöntem olarak ilk etapta genelde enerji ve yenilenebilir enerji, özelde ise FV Güneş Elektriği konusundaki ulusal ve uluslararası 100'den fazla literatür ve birincil kaynak titizlikle taranmış, güncel veri tabanlarına ulaşılıp FV Güneş Elektriği ile ilgili karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Yine uluslararası bağlayıcılığı olan konuyla ilgili sözleşmeler, anlaşmalar ile ulusal yasa, yönetmelik, tebliğ ve genelgeler incelenmiştir. FV teknolojinin işleyişi, temel ilkeleri, uygulama yöntemleri, önemsenmesi gereken standartlar hakkında genel bir bilgi derlenmiştir. FV yöntemle güneşten elektrik üretme potansiyelini ortaya koymak adına öncelikle çalışma sahasına ait coğrafik, topoğrafik, jeolojik, sosyo-ekonomik, tabii ve iklimsel veri toplanmış, risk unsurları araştırılmış, bu verilerin analiz edilmesiyle sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Hali hazırda küresel ve ulusal hazırlanmış 10 farklı FV güneş elektriği potansiyel çalışmasında Iğdır'ın görünümü incelenip; Iğdır'a özel yapılan çalışma çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Farklı senaryolara dayanan üç ayrı simülasyon yürütülerek birim kurulu FV güç için üretilebilecek elektrik miktarları, bölgenin potansiyelini gerçekleyebilme ve ekonomik uygunluğun değerlendirilmesi, buna bağlı olarak da yatırım yapılabilirlik adına bir çıktı olarak sunulmuştur. Konu ile ilgili sanayi, akademi ve sivil toplum kuruluşlarından öncü kişilerle bağlantıya geçilmiş ve derinlemesine mülakatlar gerçekleştirilmiştir.

1.1. Dünyada FV Güneş Elektriği

1992 yılında 172 ülke katılımıyla gerçekleşen Birleşmiş Milletler (BM) Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda kabul edilen İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile iklimin değişime uğradığı ve ana sebebinin beşeri etkilere dayanan küresel ısınma olduğu; küresel ısınmanın ise büyük oranda enerji üretimi sırasında atmosfere salınan sera gazlarının bir sonucu olarak ortaya çıktığı; bunun bir küresel sorun olduğu ve insanlığın çözüme yönelik çaba içerisinde olması gerektiği kabul edilmiştir. Bu motivasyon ile teknolojisi ve tekniği geliştirilmiş ancak kullanımı yaygın olmayan güneş, rüzgar, jeotermal, dalga, biyokütle vb sera gazı salımı yapmayan enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Bu hızlı değişim son olarak dünya elektrik kurulu gücündeki yenilenebilir enerji payını 2014'teki % 19,2'den 2015'te % 23,7'ye çıkarmıştır (Şekil 1-1).

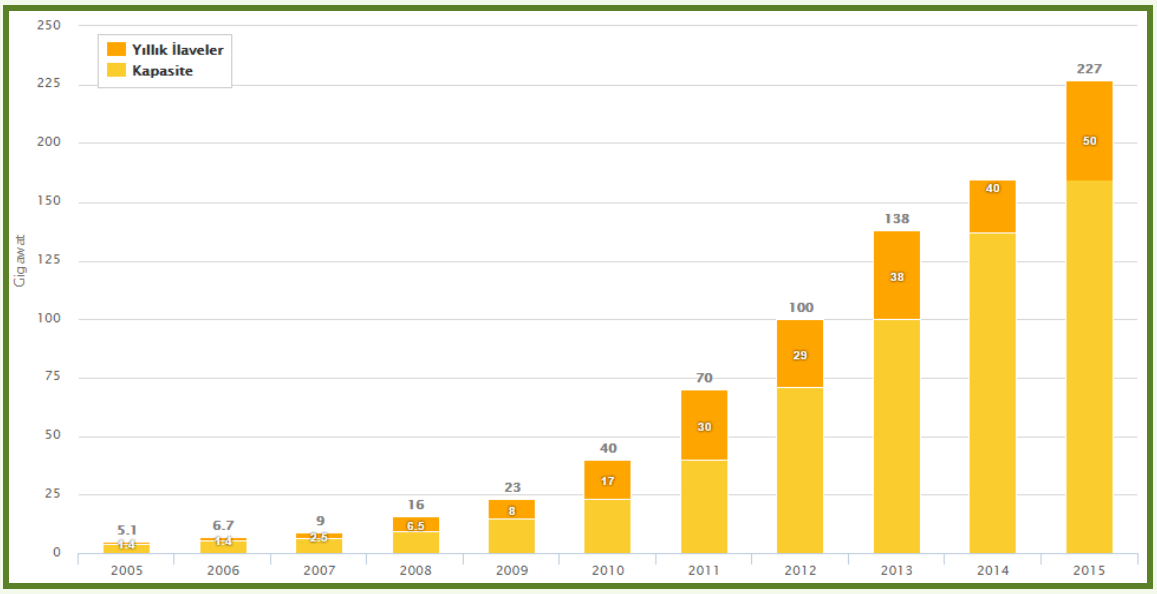


Şekil 1-1 (a) Dünya yenilenebilir enerji 2014 payları



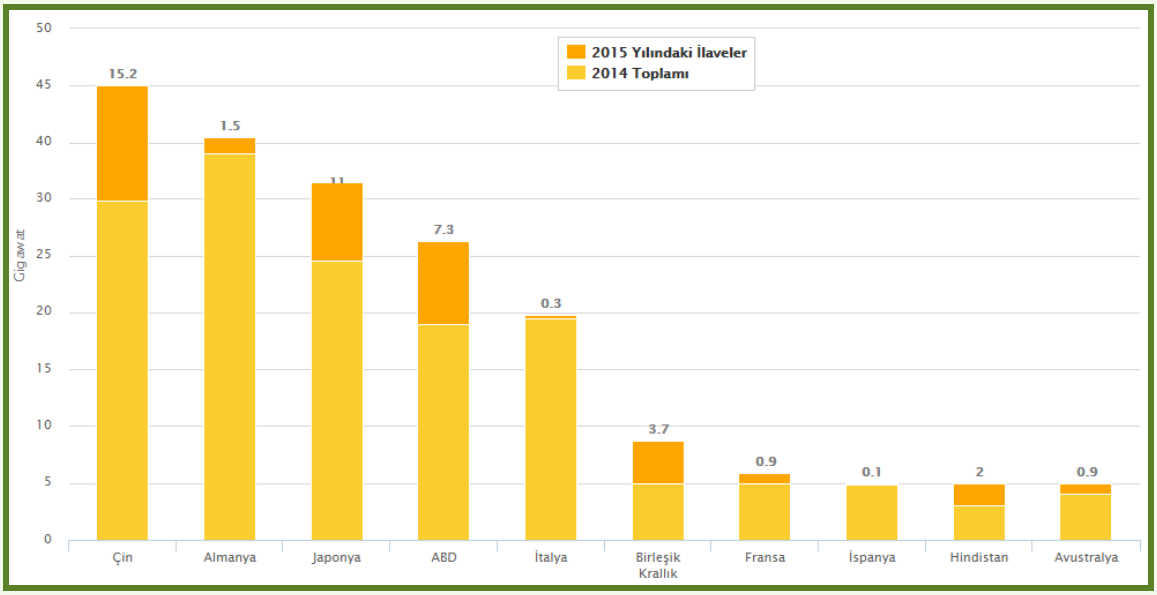
Şekil 1-1 (b) Dünya yenilenebilir enerji 2015 payları [8]

FV güneş elektriğinin elektrik kurulu güç ve üretim pastalarında yer alması 2000'li yılların başına tekabül etmektedir. Yıldan yıla özellikle Almanya önderliğinde hızlı bir yükseliş eğilimine giren ve 2014 yılında 177 GW olan dünya FV pazarı, 2015 itibariyle 227 GW mertebesine erişmiştir. 2014 yılında 39 GW ile ilk sırada yer alan Almanya'yı ise, 2015'teki 15 GW'lık ilave kurulum ile 45 GW'lık toplam kurulu güce erişen Çin geride bırakmıştır (Şekil 1-2). BP 2016 Haziran Dünya Enerji Görünüm Raporu'na [9] göre de Dünyada 2015 yılında FV Güneş Elektriği üretimi %32,6 artış göstermiş, Bu artışta Çin'in % 70'lik, ABD'nin % 42'lik ve Japonya'nın %59'luk yıllık büyümeleri etkili olmuştur.

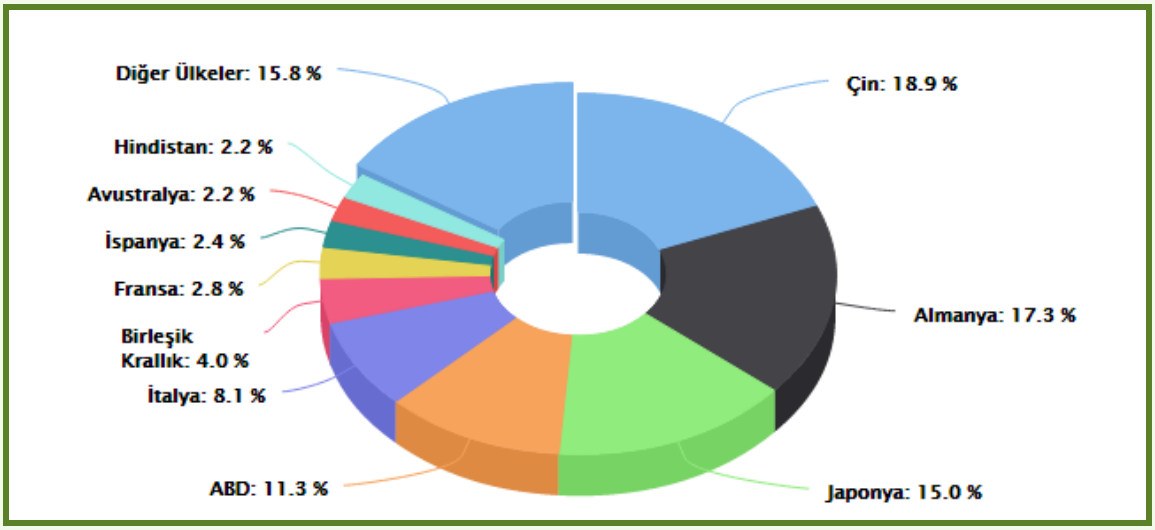


Şekil 1-2 FV güneş elektriği küresel kapasitesi ve yıllık artışlar, 2005-2015 [8]

2015 yılı kurulumlarıyla birlikte dünya FV güneş elektriği kurulu güç sıralaması Çin'in liderliğinde güncellenmiştir (Şekil 1-3). Toplam kurulu güçteki paylarına bakarak ilk beş ülkenin dünya FV kurulu gücünün 2/3'sine sahip olarak sektörü domine ettikleri söylenebilir (Şekil 1-4). Bu tip istatistikler her ne kadar ülkelerin politik ve teknolojik yaklaşımlarını ortaya koymak adına önemli olsalar da, coğrafik alan ve nüfus büyüklükleri ile toplam kurulu güçteki FV payı inceleyerek ülkeler arası FV güneş elektriği değerlendirilmesi yapılmalıdır.



Şekil 1-3 Dünya FV güneş elektriği ilk on ülke kurulu güç sıralaması, 2015 eklemesiyle [8]

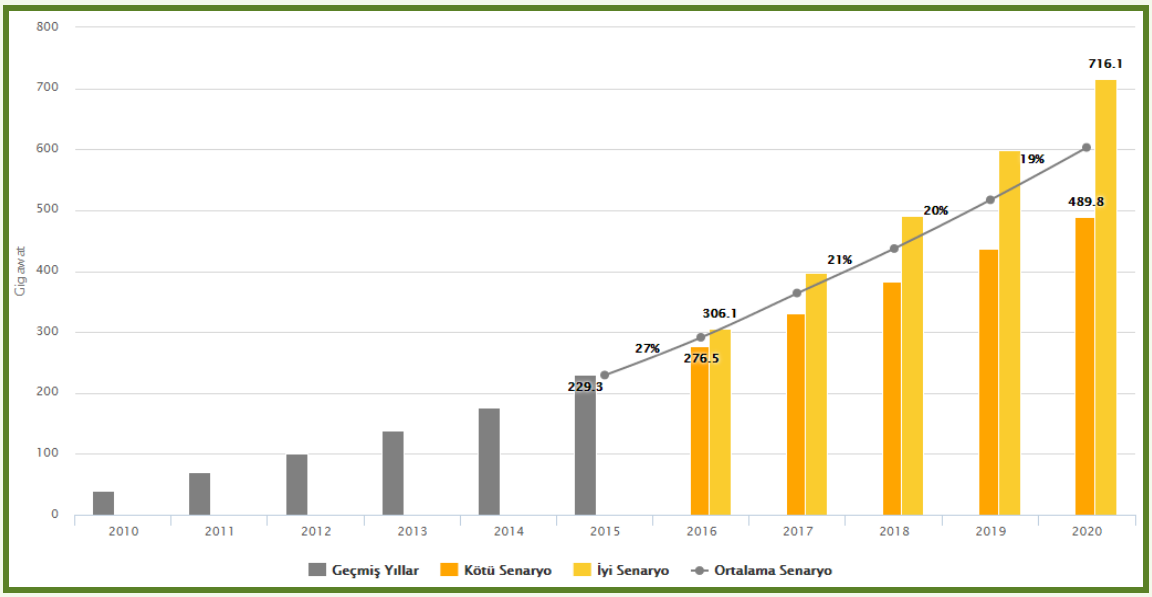


Şekil 1-4 Küresel FV güneş elektrik pazarında en büyük 10 ülkenin payları [8]

Orta Doğu Güneş Enerjisi Birliği (MESIA)'nin 12 üye ülke üzerine yaptığı çalışmaya göre bu ülkelerdeki 2014'te 294 MW düzeyinde gerçekleşen FV kurulumlar 6 kat artarak 2015 yılında ise 1.815 MW olmuştur. 2015 yılındaki en hızlı artış 706 MW'lık proje ile Mısır'da görülürken, Fas 430 MW'lık yeni proje ile ikinci ve Ürdün ise 276 MW'lık yeni proje ile üçüncü sırada yer almıştır. Verilere göre son üç yılda başlayan projelerin kümülatif güçleri ise 2.603 MW'ı bulmuştur. Aynı çalışmaya göre 2008 yılında watt başına 7 dolar olan yatırım maliyetleri, 2014 yılında 1,5 dolara kadar gerilemiştir [10].

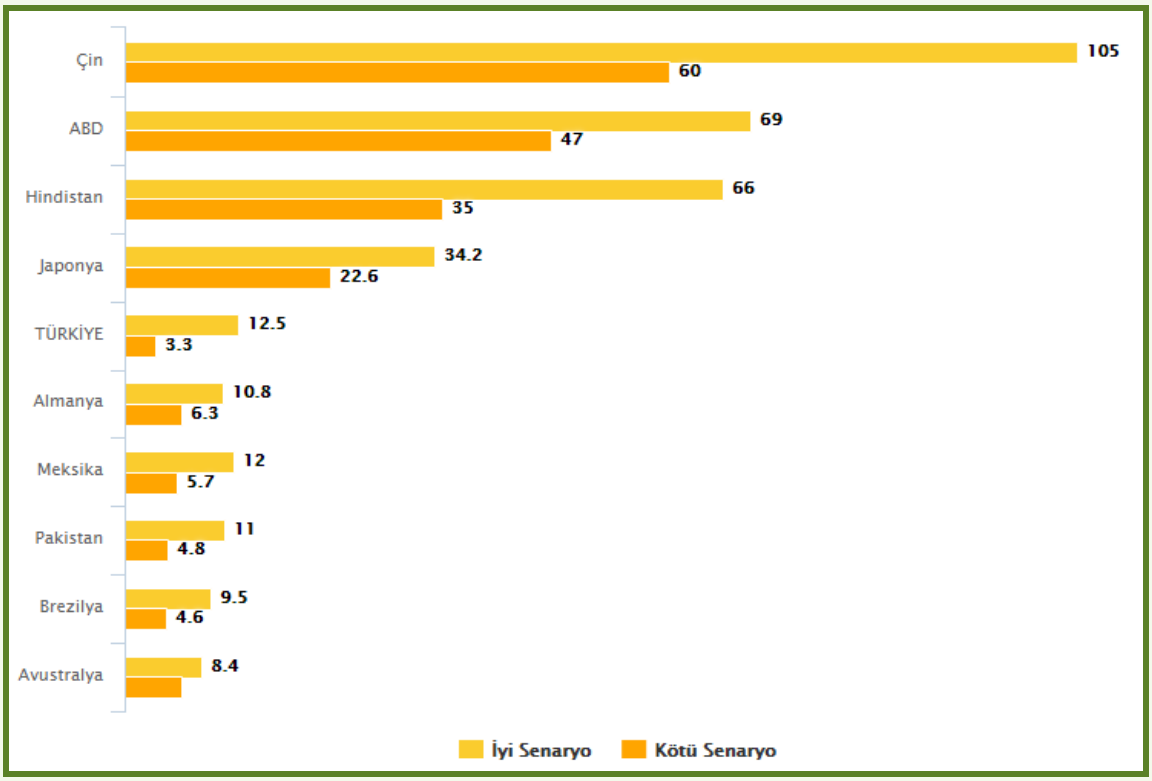
İsviçre Zürich merkezli Solar SuperState Platformu'nun 30 Haziran 2016 tarihinde Almanya'nın Köln kentinde düzenlediği 5. Uluslararası Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilirlik Konferansı sırasında, kişi başına güneş enerjisi kurulu gücünde geçen yıl olduğu gibi Lichtenstein ilk sırayı almıştır. Kişi başına 532 Watt'lık (2015: 481 Watt) kurulu güce sahip Lichtenstein'ı 486 Watt ile Almanya (2015: 473 Watt) ve 311 Watt ile İtalya (2015: 303 Watt) izlemiştir. Belçika dördüncü, Vatikan beşinci sıradadır. İlk beşteki sıralama değişmezken, 6. San Marino (2015: 7. Sıra), 7. Japonya (2015: 10. Sıra), 8. Yunanistan (2015: 6. Sıra), 9. Lüksemburg (9. Sıra) ve 10. Avusturya'dır (2015: 15. Sıra) [11].

Solar Power Europe'un 2020'ye kadar üç ayrı seyirdeki beklentilerine göre dünya FV güneş elektrik kurulu gücü her yıl bir önceki yıla göre yaklaşık % 20 oranında büyüyecek; 5 yıl sonra toplam kurulu güç en düşük ihtimalle iki kat artarak 490 GW'a, en yüksek ihtimalle 5 kat artarak 716 GW'a ulaşacaktır. Orta seviye beklenti ise bugünkü eğilimle 600 GW'ı göreceğimizdir. Avrupa Güneş Enerjisi Derneği Solar Power Europe, Global Güneş Pazarı 2016-2020 Raporu'nu, Intersolar Europe 2016 Fuarı'nın da yapıldığı Almanya'nın Münih şehrinde açıklamış; 2015 yılında 50 GW'lık yeni güneş santrali kurulumuna karşılık, 2016 yılında 62 GW'lık bir kurulum beklentisini duyurmuştur (Şekil 1-5).



Şekil 1-5 2020'ye kadar küresel toplam FV güneş elektriği yıllık kurulum artış senaryoları [12]

Şekil 1-6'da önümüzdeki 5 yıl boyunca en büyük olması beklenen pazarlara ait projeksiyonlar verilmektedir. Türkiye de iyi ihtimalle 12,5 GW'lık kurulum ile 5. büyük pazar olarak önümüzdeki 5 yıla damga vurmaya adaydır. Ancak grafikten takip edileceği üzere en düşük ile en yüksek hedefler arasında katlar mertebesinde farklılıklar gözlenmektedir. Bu durum FV güneş elektrik ulusal politikalarının stratejik ve ekonomik kaygılarla savruk ve belirsiz olduğunun da bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Avrupa FV pazar projeksiyonlarında da Türkiye için 2020'ye kadar –fazlaca iyimser bir tahminle- 8,5 GW'lık ek bir kurulum beklentisi vardır (Tablo 1-1). Dış yatırım ve enerji camiasının Türkiye'ye bakışı, FV güneş elektriğinde hatırı sayılır bir büyüme kaydedeceğimiz ve bunun bir yatırım fırsatı olduğu yönündedir. Bu tip çalışmaların sektörel araştırmalar sonucu oluşturulduğu, kamu görevlilerinin iyi niyetle, özel sektörün de hevesle abartılı bildirimlerde bulunarak araştırmayı gerçek dışılığa ittiği göz önünde bulundurulmalıdır (*Dr.LY*).



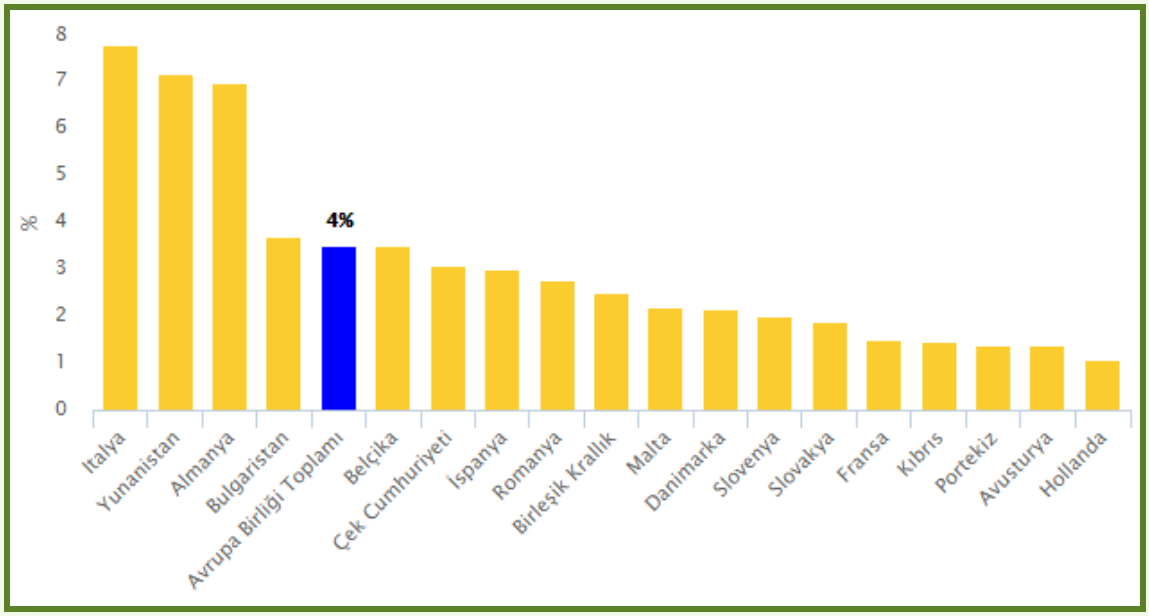
Şekil 1-6 En büyük FV ülke pazarlarının 5 yıllık yüksek ve düşük büyüme tahminleri, 2016-2020 [12]

Tablo 1-1 Avrupa FV pazarında projeksiyonlar [12]

	2015 Toplam kapasite, MW	2020 Ortalama senaryoya göre toplam kapasite, MW	2016-2020 Yeni kapasite, MW	2016-2020 Yıllık bileşik büyüme oranı, MW
Almanya	39,696	48,396	8,700	4%
Türkiye	266	8,698	8,433	101%
Fransa	6,511	12,781	6,270	14%
Birleşik Krallık	9,149	14,174	5,025	9%
İtalya	18,613	22,613	4,000	4%
Hollanda	1,394	5,044	3,650	29%
Avusturya	935	3,985	3,050	34%
İspanya	5,445	7,205	1,760	6%
Polonya	84	1,702	16,618	82%
Danimarka	791	2,291	1,500	24%

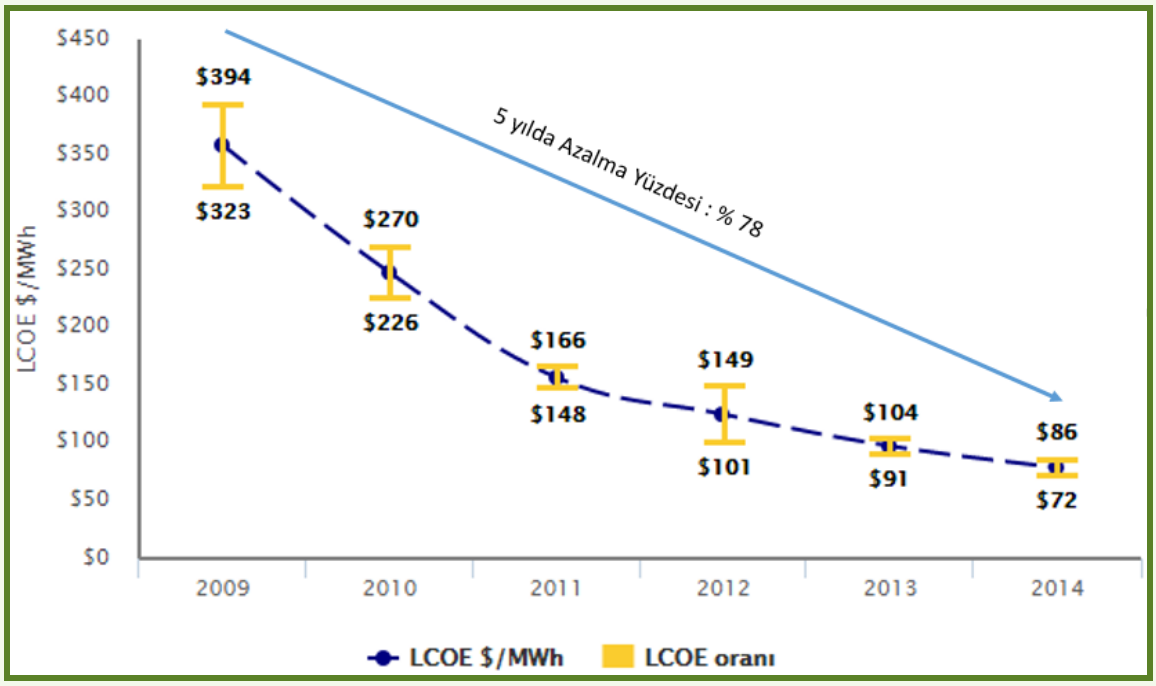
2015'te Avrupa'da genelinde elektrik tüketiminin % 4'ü FV'den sağlanırken, İtalya, Yunansitan ve Almanya'da bu oran % 7'nin üzerinde çıkmıştır (Şekil 1-7). Avrupa Birliği'nin koyduğu hedefler doğrultusunda 2020 yılında bu oranın % 10-15'lere kadar çıkacağı beklenmektedir. Bu beklentilerin oluşmasında ardımızda kalan yıllarda gerçekleşmiş yatırımlar dayanak oluşturmaktadırlar. Nitekim Dünya Bankası raporları, Güneş enerjisi alanındaki özel sektör altyapı yatırımlarının 9,4 milyar ABD $'a yükselmesi (son beş yıl ortalamasına göre yüzde 72 artış) ile birlikte, yenilenebilir enerji yatırımlarının 2015 yılında

öne çıktığını; genel olarak yenilenebilir enerji küresel yatırımlarının tüm alt yapı yatırımlarının yüzde 63'ünü oluşturduğunu bildirmiştir [13]



Şekil 1-7 Avrupa FV kurulu gücünün 2015 yılı elektrik talebine katkısı [12]

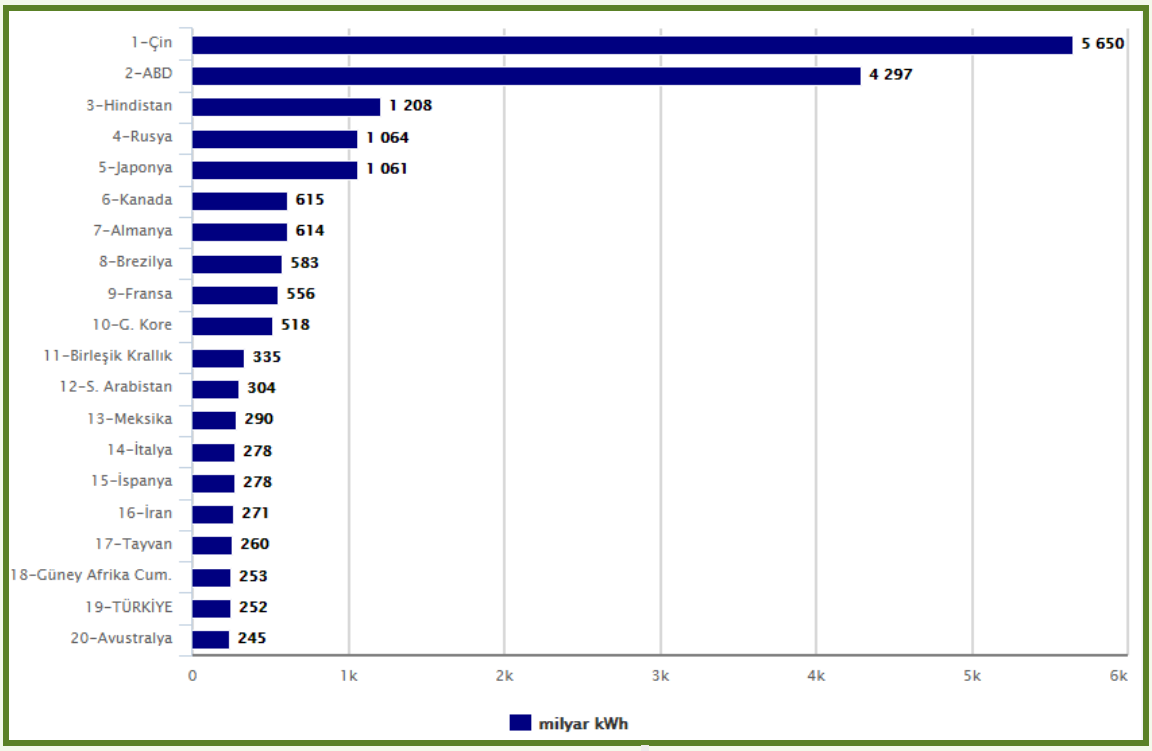
FV sektörünün son yıllardaki bu denli hızlı yükselişi ve yükselmeye devam edeceği beklentisinin en önemli nedenlerinden biri de maliyetlerdeki düşüştür. Dünyaca ünlü finansal danışmanlık şirketi Lazard, 2009-2014 arası FV yöntemle üretilen elektriğin maliyet fiyatındaki değişimi LCOE (Seviyelendirilmiş enerji maliyet analizi) bazında incelenmiştir (Şekil 1-8). FV güneş elektriğinin maliyeti 2009'daki 350 $'lardan 2014'te 80 $'lara gerilemiştir. Bu analizin tek başına MTK (Mühendislik, Tedarik, Kurulum-EPC) olmadığını; destek, teşvik ve kredi faizi gibi unsurların da hesaba katıldığını vurgulamak yerinde olacaktır. IRENA ise hazırladığı *Değişimin Gücü, Güneş ve Rüzgar Maliyet Düşüş Potansiyeli* başlıklı raporunda, Güneşten üretilen elektriğin maliyetinin 2025 yılına kadar % 59 oranında ucuzlayacağı öngörüsünde bulunmaktadır. Aynı rapor 2025 yılı için FV güneş elektrik üretimi maliyetini 5-6 $c/kWh olarak hesaplamaktadır [14].



Şekil 1-8 FV güneş elektriği seviyelendirilmiş maliyet değişimi, 2009-2014 [15]

1.2. Türkiye'de Enerji, Yenilenebilir Enerji ve Güneş Enerjisi

Dünyanın en büyük 20 ekonomisinden biri olan Türkiye, elektrik üretiminde de 2015 sonu itibariyle 19. sırada bulunuyor (Şekil 1-9). Dünya ile paralel olarak uzun yıllar konvansiyonel enerji kaynakları ile 2000'li yıllara kadar, daha çok da ithalatla, enerji arz güvenliğini sağlayan ülkemiz, imza koyduğu uluslararası anlaşmalar ile sosyo-ekonomik, çevresel ve stratejik kaygılar nedeniyle son on yılda yenilenebilir enerji kaynaklarını kurulu güç portföyüne dahil ederek kaynak çeşitliliğine gitmeye başlamıştır.



Şekil 1-9 Elektrik üretiminde ilk 20 ülke, 2014 verileri [9]

Türkiye'nin elektrik talep ve tüketim hızı küresel krizlerin olduğu 2008 ve 2013 yılları haricinde her yıl yaklaşık % 8, kriz yıllarını katarsak % 6 oranında artmış, 2014 yılında 257 bin GWh'e (Tablo 1-2) 2015 yılında da 264 bin GWh'e (Tablo 1-3) ulaşmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) Elektrik Piyasası 2015 Yılı Gelişim Raporu'nda Türkiye'nin elektrik üretim kapasitesi 2015 yılında % 5 oranında artarak 73 bin MW'a (76 bin MW, Ağustos 2016); elektrik üretimi de % 3 artışla 260 bin GWh'e erişmiştir [16]. Talebi karşılayacak arz dağılımımız 2016 Haziran itibariyle 13 ayrı teknik ve kaynaktan ibarettir. Elektrik üretim lisanslı arz portföyümüzde güneş enerjisinin her hangi bir türünün bulunmuyor olması dikkat çekicidir. Türkiye'de tahsisi yapılmış olmasına rağmen işler halde lisanslı bir güneş elektrik santrali (GES) bulunmamaktadır. Elektrik üretimimizde doğalgaz, hidrolik ve kömür santralleri toplam kurulu gücün % 90'ını teşkil etmektedir (Tablo 1-3). Bu kaynakların elektrik üretimi olarak yansımasında ise doğalgaz, kömür ve su ilk üç sırada yer almaktadır. Fosil enerji kaynakları bakımından net ithalatçı ülke konumunda olan Türkiye'de 2014 yılında enerji (sadece elektrik değil) arzının petrolde % 92, doğalgazda % 99, taş kömüründe % 94 olmak üzere toplamda %75'lik (2013'te %73) bölümü ithalat ile karşılanmıştır [17]. Buradan çıkarılması gereken net sonuç: Yerli, yeterli, yeni ve yenilenebilir kaynaklarımızın kullanıma sunulması kaçınılmazdır!

Tablo 1-2 2005 – 2014 Yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji tüketimi [18]

Yıl	Puant güç talebi, MW	Artış, %	Enerji tüketimi, GWh	Artış, %
2005	25174	7,2	160794	7,2
2006	27594	9,6	174637	8,6
2007	29249	6	190000	8,8
2008	30517	4,3	198085	4,3
2009	29870	-2,1	194079	-2
2010	33392	11,8	210434	8,4
2011	36122	8,2	230306	9,4
2012	39045	8,1	242370	5,2
2013	38274	-2	248324	2,5
2014	41003	7,1	257220	3,6

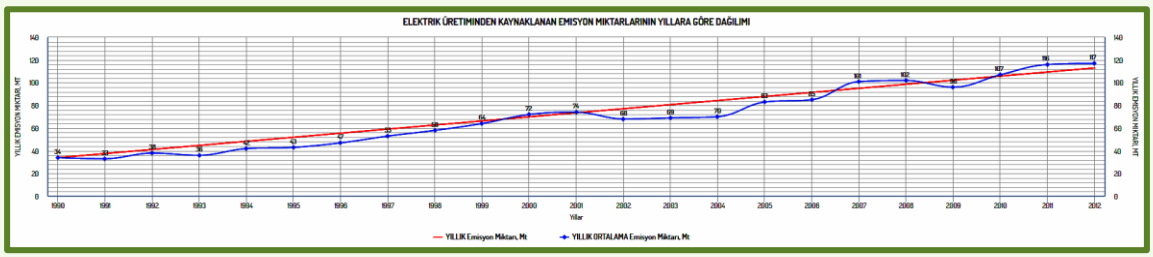
Küresel ısınmayla gittikçe daha belirgin hale gelen yağış rejimi değişimi ve hava sıcaklığındaki artış, elektrik tüketimine olan talebi açık şekilde büyütmektedir. TEİAŞ verilerinden derlenen bilgilere göre hava sıcaklığının mevsim normallerinin oldukça üzerinde seyrettiği 9 Ağustos 2016 Çarşamba günü 902 milyon 692 bin kWh elektrik tüketilerek rekor kırılmıştır.

Tablo 1-3 Lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı, 2016 Haziran [19] ve 2015 elektrik üretimleri [20]

Kaynak Türü	2016 Haziran Kurulu Güç, MW	2016 Haziran Oran, %	2015 elektrik üretimleri, MWh	Oran, %
Doğalgaz	24.707,93	33,49	100.000	38
Linyit	9.272,90	12,57	75.000	28
İthal kömür	6.064,15	8,22		
Taş kömürü	639,41	0,87		
Barajlı	19.384,48	26,27	66.000	26
Akarsu	6.796,93	9,21		
Rüzgar	4.647,90	6,3	12.000	4,4
Fuel oil	832,87	1,13	6.000	2,2
Asfaltit	405	0,55		
Lng	11,95	0,02		
Motorin	1,04	0,001		
Jeotermal	647,95	0,88	3.500	1,4
Bio gaz	352,64	0,48	1.500	
Genel toplam	73.782,02	100	264.000	

Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimini artırma isteğinin en büyük dayanaklarından biri 1990'lardan itibaren hızlı ve düzenli bir yükselişe geçen salım miktarlarındaki artıştır. Bu gayretler sonucunda elektrik üretiminde sera gazı salımını azaltmak hedeflenmektedir (Şekil 1-10). Dünyada enerji verimliliği, genelde enerji yoğunluğu ile değerlendirilir. Enerji yoğunluğu, Gayri Safi Yurtiçi Milli Hasıla (GSYİH) başına tüketilen ton eşdeğer petrol (TEP) cinsinden enerji miktarıdır. Türkiye'de enerji kullanımında karbon

salımı şu an kişi başı 3,7 ton iken, 2050 itibariyle 0,6 tona düşürülmesi hedefleniyor [21]. Bu hedefin tutturulması için YEK kullanımının bir an evvel yaygınlaşması gerekmektedir.



Şekil 1-10 Elektrik üretiminden kaynaklanan karbon salımının yıllara göre dağılımı [22]

Her ne kadar elektrik üretimimizde hidrolik güçten son 60 yıldır yararlanıyor olsak da rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle vb yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaşması 2005'ten sonrasına tarihlenir. FV güneş elektriğinde ise sistematik olarak harekete geçilmesi 2011 yılında lisanslama süreciyle başlar. Gelinen noktada FV güneş elektriğinde aktif kurulumlar Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği (LÜY) kapsamındadır.

2015 sonu itibariyle lisanssız santrallerin kümülatif güç içindeki payı ise 359 MW olmuştur. Güneş kaynaklı elektrik enerjisi kurulu gücü, 293 MW'ı fotovoltaik, 1,7 MW'ı ise yoğunlaştırmalı güneş enerjisi santralleri olmak üzere toplamda 295 MW'tır [16]. Ancak özellikle FV güneş elektriğinde kurulumlar lisanssız statüde hızla devam etmektedir. Haziran 2016'ya gelindiğinde FV GES kurulu gücü 554 MW'a (Tablo 1-4), FV güneş elektrik üretimi Nisan ayı için 73 bin MWh/ay iken Haziran ayı için 97 bin MWh/ay'a (Tablo 1-5) çıkmıştır. Temmuz 2016'da ise toplam güçleri 56,2 MW olan 60 santral daha devreye girerek 562 MW'a erişilmiştir. Güneşlenme süresinin uzadığı yaz aylarında üretim oranının daha da yükseleceği açıktır. Son 2 yıllık periyotta GES kurulu gücüne paralel olarak elektrik üretiminin de hızla artış gösterdiği ve 80 GWh'i geçen aylık üretim değerlerine eriştiği izlenmektedir (Şekil 1-11).

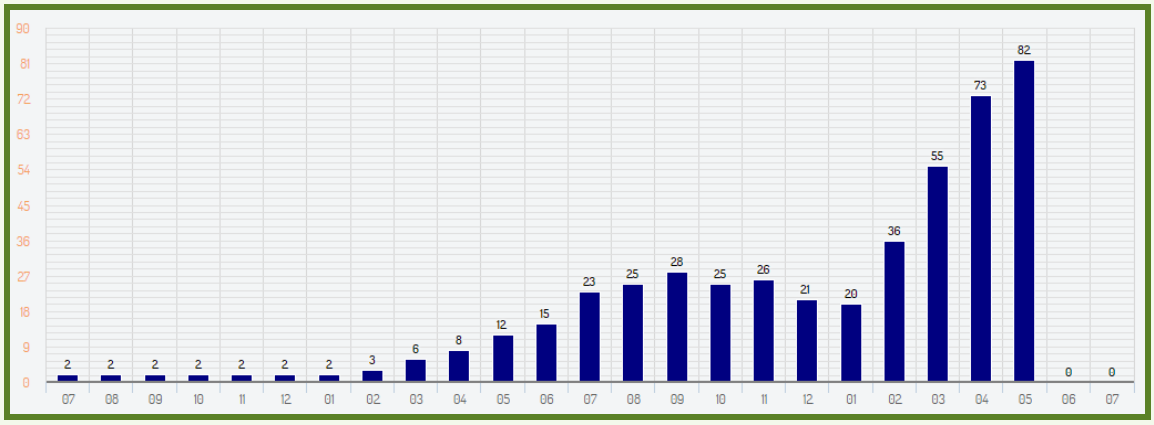
2015 yılında Lisanssız elektrik üretim tesisleri ihtiyaç fazlası toplam 223 bin MWh elektrik üretimi gerçekleştirip elektrik şebekesine iletirken, bu üretimin 185 bin MWh/yıl'lık kısmını güneş enerjisi yatırımları gerçekleştirmiştir. Lisanssız elektrik üretiminde Kayseri % 29'luk oran ile ilk sırada gelirken, Konya % 7 ile ikinci sırada yer almıştır. LÜY kapsamındaki arzın % 53'ü ise Ankara, Antalya ve Denizli ile birlikte bu beş şehirde üretilmiştir [16].

Tablo 1-4 2016 yılı haziran ayı sonu itibariyle lisanssız elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı, MWe [19]

Kaynak Türü	Kurulu Güç, MWe	Oran, %
Güneş (Fotovoltaik)	453,48	83,9
Doğal gaz	44,17	8,17
Biyokütle	31,67	5,86
Rüzgar	6,77	1,25
Hidrolik	2,8	0,52
Güneş (Yoğunlaştırılmış)	1,7	0,32
Genel Toplam	540,59	100

Tablo 1-5 Haziran 2016 döneminde lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı, MWh [19]

Kaynak Türü	İhtiyaç fazlası satın alınan enerji miktarı, MWh	Oran, %
Güneş (Fotovoltaik)	96.612	91
Biyokütle	8.363	8
Hidrolik	606	0,6
Rüzgâr	473	0,4
Genel Toplam	106.053	100



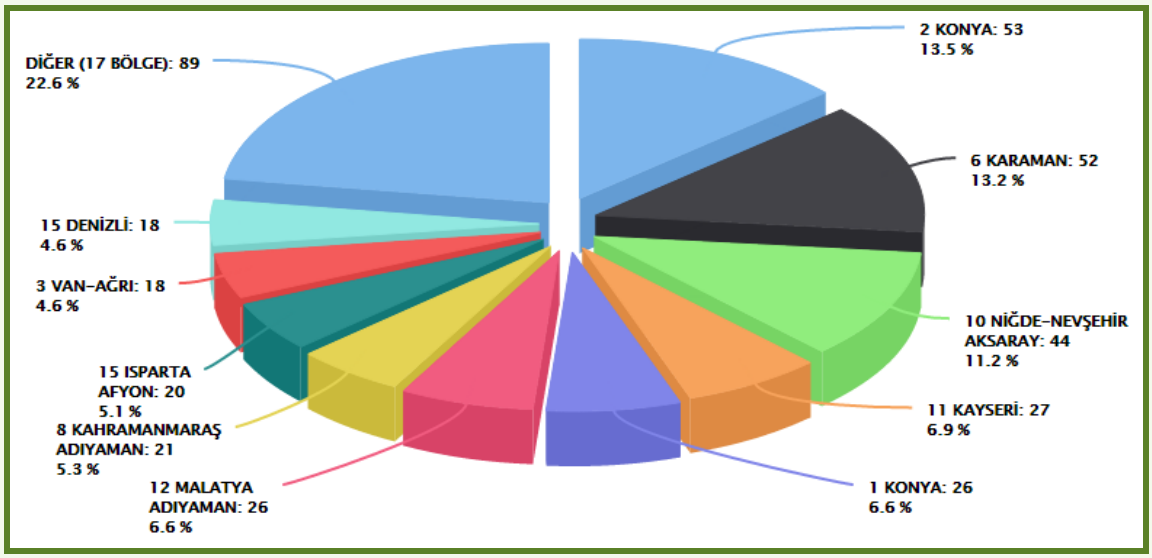
Şekil 1-11 2016 yılı Mayıs ayı ve öncesi 24 aylık dönemde güneş enerjisi ile gerçekleştirilen elektrik üretimi

LÜY kapsamındaki FV GES projeleri standart bir tarifi oluşturulmamış proje geliştiriciler tarafından arazi temin edilerek, kamusal izinleri alınarak, elektriksel hesaplamaları yapılarak ve MTK (EPC) hizmeti verilerek yürütülmeye çalışılmaktadır. 1 Mayıs 2016 itibariyle FV GES kurulumu için TEDAŞ'a yapılan 6706 başvurunun yaklaşık yarısı onaylanmış, ancak yalnızca % 8'i kabul edilebilmiştir. Hazırlık aşamasındaki her 4 proje teklifinden 1'inin belge, saha, proje tekniği vb eksiklik ve yanlışlıklardan kaynaklı iade edilmiş olması da sektörün bilgi eksiğini göstermek adına önemlidir. Tam 1601 yetersiz, eksik veya uygulanamaz proje, tüm harcanan parasal ve iş gücü kaynağına rağmen gerçekleşemeden reddedilmiştir (Tablo 1-6).

Tablo 1-6 FV GES başvurularında son durum [23]

Başvuru durumu	Adet
Onaylanmış proje	3582
İncelenip iade edilen proje	1601
İnceleme aşamasında toplam proje	1187
Kabulü tamamlanan proje	556
Kurulu güç	420 MW (562 MW, Ağustos 2016)
Toplam başvuru	6706

Yine TEİAŞ tarafından açıklanan Ağustos 2016 itibari ile çağrı mektubu verilmiş olan GES kapasitesi 6.746 MW; buna en yakın kaynak olan rüzgar enerjisi projeleri için 223 MW, tahsis edilen maksimum GES ve RES kapasitesi ise 7155 MW seviyesine ulaşmış durumdadır [24]. İller bazında başvuruların dağılımı incelendiğinde ise Konya, Karaman, Niğde, Nevşehir ve Aksaray'ın hala en rağbet gören yerler olduğu görülmektedir (Şekil 1-12). Ağrı (17 MW), Ardahan (4 MW) ve Kars (17 MW) illerinde bile GES çağrı mektubu almak koşuluyla LÜY kapsamında başvuru yapılmışken, Iğdır için hiçbir girişimde bulunulmamış olması dikkate değerdir [24].



Şekil 1-12 FV GES başvurularının iller bazında dağılımı, Mayıs 2016 [23]

Iğdır özelinde elektrik üretim kurulu gücü toplam 23 MW ile 3 adet HES (Gaziler, Bayra, Kiti)'ten ibarettir. Yıllık yaklaşık elektrik üretimleri 93 bin kWh'tir. İki adet (Tuzluca, Aktaş) de Ön Lisans Alan ve Planlanan HES projesi vardır. Kurulu gücün Türkiye portföyüne oranı % 0,03'tür [25]. Iğdır'da henüz lisanssız yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir elektrik üretim tesis başvurusu yapılmamıştır.

1.3. YEK Mevzuatı

Ülkemizde yenilenebilir enerji mevzuatını büyük ölçüde enerji mevzuatının altında incelemek uygun olacaktır. Ancak tek başına enerji düzenlemeleri YEK için yeterli olmamaktadır. Bunun yanında çevre, strateji, teknoloji ve mali konulardaki uluslararası sözleşmeler ve belgeler ile ulusal plan ve program, yasa, yönetmelik, tebliğ, genelge ve hatta duyuru gibi uygulamalar da bağlayıcılık ve yönlendiricilik barındırmaktadır. Bu yaklaşımla hiyerarşik bir altlık üstlük ilişkisinin olduğu kabul edilerek konu irdelenmiştir.

1.3.1. Uluslararası belgeler

Birleşmiş Milletler'in iki örgütü Dünya Meteoroloji Teşkilatı (DMT-WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından 1988 yılında insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (HDİP- IPCC) kurulmuştur. Türkiye bu panel kapsamında 1992'de imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BM-İDÇS)'ni 2004; 1997'de kabul edilen Kyoto Protokolü'ne 2009 yılında TBMM'de kabul ederek taraf olmuştur. IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu (AR5) sonrası ise ortaya çıkan Paris Anlaşması 22 Nisan 2016 tarihinde imzaya açılmıştır. Anlaşma'ya -henüz TBMM'de onaylanmamakla birlikte- imza koyan ülkeler arasında Türkiye de yer almıştır.

Türkiye 1990 yılında atmosfere saldığı 207,8 milyon ton sera gazını, 2014'e 467,6 milyon tona çıkartmıştır. "Enerji ihtiyacı" gerekçesi ile artışın sorumlusu enerji sektörü ve içinde yer alan fosil yakıtlar gösterilmiştir. Artık ülkemiz için bağlayıcılığı olan IPCC'nin raporları ve benzeri çalışmalar fosil yakıtların toprakta kalması ve kullanımını azaltmaya hemen başlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Kömür rezervinin en az %80'inin, petrolün %30'unun, doğalgazın ise yarısının toprakta kalması ve kullanılmaması gerekmektedir [21].

Türkiye 1 Ekim 2015 tarihinde Kesin Katkılar için Ulusal Niyet Beyanı (INDC)'nı teslim etmiştir. Niyet Beyanı ile 2030 yılı salımlarını 1 milyar 175 milyon ton öngördüğünü, azaltım taahhüdü ile 929 milyon ton'a düşüreceğini bildirmiştir. Ayrıca, rüzgar enerjisi hedefi 2030'da 16 bin MW, lisanslı Güneş enerjisi hedefi ise 10 bin MW olarak beyan edilmiştir [26].

1.3.2. Ulusal belgeler

Uluslararası verilen sözlerin birer çıktısı olarak Türkiye, Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (İDES 2010-2020), Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı (İDEP 2011-2023) ve İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (İDUSEP 2011-2023) belgelerini yayınlamıştır. Bu kapsamdaki faaliyetlerden bir bölümü de "*temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak düşük karbon yoğunluğu sunan bir ülke olma*"yı hedeflemektedir. Durum tespitine yönelik yapılan çalışmalar neticesinde, toplam CO_2 emisyonlarının 2013 yılında %82'sinin enerjiden, %18'inin endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından, %0,2'sinin ise tarımsal faaliyetler ve atıktan kaynaklandığı belirlenmiştir [27].

Atılan imzalar, yayınlanan belgeler ve verilen taahhütlere istinaden İDEP'te "…*yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının artırılması ve 2023 yılına kadar teknolojik gelişim sağlanması*…" hedeflenmiştir. Bağlayıcılığı olan bu taahhütlere uyumlu olarak ulusal politikamız şekillenmekte; ilgili kurum ve kuruluşlar bu doğrultuda hedefler koyup faaliyet planlaması yapmaktadırlar.

Türkiye İklim Değişikliği Eylem Planı Değerlendirme Raporu 2011-2023

Enerji Sektöründe Amaç E2. *Temiz enerjinin üretim ve kullanımdaki payının artırılması*. Hedef E2.1. *Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının artırılmasının sağlanması*

Binalar Sektöründe Amaç B2. *Binalarda yenilenebilir enerji kullanımının artırılması*.

Hedef B2.1. *2017 yılından itibaren yeni binaların yıllık enerji ihtiyacının en az %20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmesi.*

Sektörler Arası Ortak Konular'da ise Amaç Y9. *Tüketim kalıplarının iklim dostu olacak şekilde değiştirilebilmesi için kamuoyu bilincinin arttırılması* [28] hedeflenmiştir.

Onuncu Kalkınma Planı (2014 - 2018) Yerli Kaynaklara Dayalı Enerji Üretim Programı Eylem Planı

4. Bileşen: *Su Dışındaki Yenilenebilir Kaynakların Değerlendirilmesi*;

Politika 1: *Rüzgar, güneş, biyokütle ve jeotermal kaynakların elektrik üretiminde kullanılmasına yönelik potansiyelin tam olarak tespit edilmesi…*; diyerek Aralık 2016'ya kadar, *Rüzgar ve güneşten elektrik üretimine ilişkin olarak işletmede olan tesislerden elde edilen veriler kapsamında, Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ve* ***Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) güncellenecektir***.

Eylemden Sorumlu Kuruluş : ETKB
Eylemle İlgili Kuruluşlar : TEİAŞ
Başlangıç-Bitiş Tarihi : Kasım 2014- Aralık 2015
Politika 2 : *Su kaynakları dışındaki yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin artırılması için yatırım gerçekleşmelerine yönelik izleme ve değerlendirme yapılması amaçlı sistemin kurulması*
Eylem : *Yenilenebilir enerji projelerinin hızlandırılması için izin süreçlerinin tanımlanması ve takip edilmesi sağlanacaktır.*
Eylemden Sorumlu Kuruluş : ETKB
Eylemle İlgili Kuruluşlar : *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kültür ve Turizm Bakanlığı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, EPDK, Genel Kurmay Başkanlığı, MİT*
Başlangıç-Bitiş Tarihi : *Kasım 2014- Aralık 2015*

Politika 3 : *Biyokütle, jeotermal ve güneş kaynaklarının birincil enerji amacıyla değerlendirilmesi için mevcut potansiyelin harekete geçirilmesi amaçlanmıştır* [29].
Eylem 1 : *Orman köylerinde güneş enerjisi uygulamaları daha kısa sürede ve daha yoğun olarak gerçekleştirilecektir.*
Eylem 2 : *Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilecek organize sera bölgelerinin belirlenmesi ve ilan edilmesine yönelik çalışmalar tamamlanacaktır* [29].

Orta Vadeli Program (2016-2018)(Revize)

Ödemeler Dengesi Kısmında 193. *Enerjide dışa bağımlılığı azaltmaya yönelik olarak maden, enerji hammaddeleri, yerli enerji üretim ekipmanları, yenilenebilir enerji ve nükleer enerji yatırımları için ayrılan kaynaklar önemli oranda artırılacaktır* [30].

ETKB Stratejik Plan (2015-2019)

GZFT Analizinde: *Güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle, dalga ve akıntı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında hem elektrik enerjisi üretimi hem de ısı üretimi açısından önemli bir potansiyelimiz bulunmaktadır. Ancak bu potansiyelin tam anlamıyla hayata geçmesi için finansman imkanlarının geliştirilmesi, mevzuatın güncellenmesi, iletim altyapısının güçlendirilmesi ve yatırımcı farkındalığının arttırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.*

Planın Amacına Göre: *Ülkemizin sahip olduğu hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga ve akıntı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması kaynak çeşitliliğinin sağlanabilmesi açısından stratejik öneme sahiptir*.

Hedef A2'ye Göre de: *Güneş enerjisi kaynaklarının birincil enerji ve elektrik enerjisi arzı içindeki payının 2015 için 300 MW (tutturulmuştur hedef), 2017 için 1800 MW ve 2019 için 3000 MW'a arttırılması sağlanacaktır* [31].

Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi

…elektrik enerjisinin tüm tüketicilere yeterli, sürekli, kaliteli, düşük maliyetli ve çevre konusundaki duyarlılıkları dikkate alan bir şekilde sunulması temel amaçtır. Bu amaç doğrultusunda rekabetçi bir serbest piyasa oluşumu çalışmalarına devam edilecek, elektrik enerjisi talebini karşılamak üzere devreye girecek yeni üretim yatırımlarının piyasa yapısı içerisinde, enerji politikalarının kaynak öncelikleri ile uyumlu olarak ve sürdürülebilir koşullarda gerçekleştirilmesine yönelik uygulamalara etkinlik kazandırılacaktır. Sürdürülebilir bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması hedefi doğrultusunda, iklim değişikliği ve çevresel etkilerin sektörün her alanındaki faaliyetlerde göz önünde bulundurulması enerji arzında dışa bağımlılığı azaltmak üzere, yeni teknolojilerin özendirilmesi, kaynak çeşitliliğinin sağlanması ve yerli ve yenilenebilir kaynakların azami ölçüde kullanılması hedeflenmektedir.

Güneş: *Hedef, güneş enerjisinin elektrik üretimi için de kullanılması uygulamasını yaygınlaştırmak, ülke potansiyelinin azami ölçüde değerlendirilmesini sağlamaktır. Güneş*

enerjisinin elektrik üretiminde kullanılması konusunda teknolojik gelişmeler yakından takip edilecek ve uygulanacaktır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesini özendirmek esastır [32]

Türkiye Elektrik ve Elektronik Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2012-2016

Hukuki ve İdari Düzenlemeleri İyileştirmek Hedefinde *yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi ile ülkenin enerji ithalatının düşürülmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından; hidroelektrik, güneş, ısı pompası ve rüzgâr enerjisi tesislerini kuran ve malzemelerini üretenlerin ve bu alanlarda ar-ge çalışmaları yürütenlerin teşvik edilmesi için çalışmalar yapılacaktır* [33].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 03 Mart 2016 tarihinde yaptığı "2016 Yılı Bütçe Sunumu

Türkiye enerji arz güvenliğini esas alan enerji politikasını şu temel amaçlar üzerinden yürüteceğini duyurmuştur;

• Yerli kaynaklara öncelik vermek suretiyle kaynak çeşitliliğinin sağlanması,
• Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzındaki payının arttırılması,
• Enerji ve tabii kaynaklar alanındaki faaliyetlerin çevreye duyarlı şekilde yürütülmesinin sağlanması,
• Yerli doğal kaynakların ülke ekonomisine katkısının arttırılması,
• Serbest piyasa koşullarına tam işlerlik kazandırılması ve yatırım ortamının iyileştirilmesidir [34].

FV güneş elektriği çalışmalarının ulusal politikalarla ne kadar uyumlu olduğunu bu sayılan amaçlar adeta teyit etmektedir. Ayrıca 2019 hedeflerinden biri de "***Güneş enerjisine dayalı kurulu gücün 3.000 MW'a çıkarılması***" olarak kamuoyuna açıklanmıştır.

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2010-2023

Stratejik Amaç 2: SA-02: *Enerji verimliliği yüksek binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak vardır. Buna göre: Bu kapsamda 2017 yılından itibaren, binanın yıllık enerji ihtiyacı içerisindeki yenilenebilir enerji kullanım oranına ilişkin uygulanacak kademeler, % 20'den az olmamak üzere; binaların, bulundukları belediyelerin kalkınmışlık düzeylerine, imar planlarına, arsa değerlerine ve çevredeki doğal enerji imkânlarına bağlı olarak 2 yılda bir belirlenecektir* [35].

TEİAŞ Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu 2012 – 2021

Elektrik sektörünün tüketim yapısının özelliği dolayısıyla, arz-talep dengelerinin gelişimine ve puant yük talebine en uygun şekilde cevap verecek Hidrolik-Termik-Rüzgar-Güneş kaynaklarına bağlı dağılımı sağlayacak, kaynak güvenliğini esas alacak, arz güvenliği açısından yeterli

düzeyde yedek kapasiteye sahip bir sistemin kurulabilmesi için planlama çalışmalarına önem verilmesi gerekmektedir. Elektrik sektörünün serbest piyasa şartlarında faaliyet göstermeye başlamasından sonra da özel sektörün önünü görmesi ve yatırımcılara ışık tutması ve arz güvenliği açısından planlama çalışmalarının yapılması büyük önem arz etmektedir. Bilindiği gibi, sağlıksız, plansız ve belirsizliklerin çok olduğu bir gelişimden özellikle piyasada faaliyet gösteren özel sektörün girişimleri olumsuz etkilenebilecektir [36].

TETAŞ Sektör Raporu 2014

Dünyada devam eden özelleştirme, serbestleştirme ve bu amaçla süregelen yasal, yapısal değişim ve dönüşüm süreci, dünya enerji pazarında bugüne kadar olan en büyük belirsizlik dönemini yaratmıştır. Belirsizlik ortamı; yerli ve yenilenebilir kaynaklara daha çok yatırım yapılmasını ve dengeli bir enerji portföyü için daha dikkatli, verimli ve uzun vadeli kamusal planların yapılmasını zorunlu kılmıştır. Diğer taraftan, tüm dünyada elektrik piyasalarına ilişkin reform çalışmalarında, yatırım risklerinin tüketicinin üzerinden alınarak üreticilerin ve piyasa katılımcılarının üzerine kaydırıldığı daha ideal bir rekabetçi piyasa ortamını oluşturmaya çalışan yaklaşımlara dönüldüğü de görülmektedir [37].

2014-2023 İklim Değişikliği ve Buna Bağlı Afetlere Yönelik Yol Haritası Belgesi

Yetkili Kurumların Rolleri ve Sorumlulukları Kısmında *Sera gazı salımlarının azaltılmasına katkı sağlayan yenilenebilir enerji kaynakları başta olmak üzere temiz enerji kullanılmasını desteklemek ve temiz enerji konularında çalışmalar yapmak* [38].

2016 Mayıs ayında yayınlanan 65. Hükümet Programı

"*Enerjinin nihai tüketiciye sürekli, kaliteli, güvenli, asgari maliyetlerle arzı ve enerji temininde kaynak ve bölge çeşitlendirmesi esas alınmakta*" ve "*Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımızın mümkün olan en üst düzeyde değerlendirilmesi öngörmekte*", "*Enerjinin israf edilmemesi ve çevresel etkilerinin asgariye indirilmesi ile ülkemizin uluslararası enerji ticaretinde stratejik konumunu güçlendiren rekabetçi bir enerji sistemine ulaşılması temel amaç*" olarak ifade edilmektedir [39].

1.3.3. Bölgesel belgeler

Başbakan başkanlığında oluşturulan Bölgesel Gelişme Yüksek Kurulunun 30.12.2014'de onayladığı **SERKA TRA2 Bölgesi (Ağrı, Ardahan, Iğdır ve Kars) 2014-2023 Bölge Planı**'nda TRA2 Bölgesi'nin enerji nakil hatlarının geçiş güzergâhında bulunması sebebiyle jeostratejik bir konuma sahip olmasına rağmen; kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi 2011 yılı verilerine göre Türkiye'de 2.490 kWh/kişi iken gelişmiş ülkelerde bu miktar yaklaşık 8.900 kWh/kişi; TRA2 Bölgesi'nde ise 720 kWh/kişi gibi düşük bir değerde olduğu vurgulanmaktadır. Yine planda bölgenin Sosyal Kalkınma, Çevresel Sürdürülebilirlik, Erişilebilirlik ve Rekabet Edebilirliği analiz edilirken "*Alternatif enerji kaynak potansiyelinin varlığı ve yüksek olması*", güçlü ve fırsat içeren yönünü; "*Yenilenebilir enerji kaynak*

potansiyeline yönelik araştırmaların olmaması" ve "*Küresel iklim değişikliğinin yaşanması*" zayıf ve tehdit içeren yönler olarak tanımlanmaktadır [40].

Ayrıca TRA2 2014-2023 Bölge Planı Vizyonu kapsamında çevresel sürdürülebilirlik adına "*enerji kaynaklarının etkin kullanılması*"; rekabet edebilirlik adına da "*tabii kaynakların katma değerinin arttırılması*" gerekliliğine vurgu yapılmaktadır. Çevresel Sürdürülebilirlik gelişme ekseni ile TRA2 Bölgesinin kentsel ve kırsal alt yapısının iyileştirilmesi, çevrenin korunarak kirletilmesinin engellenmesi ve bölgede yer alan/potansiyel vaat eden enerji kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılması hedeflenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılmasının önü açılarak su kaynaklarının kirliliğinin önlenmesi, akarsu havzalarının korunması, hava kirliliğinin önlenmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve orman varlığının artırılması amaçlanmaktadır. Bu gayeyle kurgulanan öncelikli eylem "*Enerji kaynaklarının etkin kullanılması*" ile "*Temel ihtiyaç unsurlarından birisi olan enerjiye hane halkı bazında erişim*"de çok büyük sıkıntılar yaşanmazken bölge OSB'lerinin elektrik alt yapılarında sıkıntı bulunmaktadır. Bölgedeki enerji alt yapı sorunlarının giderilmesinin yanı sıra sahip olunan yenilenebilir enerji potansiyelinin katma değer oluşturacak projelerle hayata geçirilmesi önem arz etmektedir. Bölgenin sahip olduğu "*yenilenebilir enerji (özellikle güneş, jeotermal ve biokütle enerjisi) potansiyeli ve kullanım alanlarına yönelik araştırmalar yapılacağı, potansiyelinin tespit edilerek değerlendirileceği*"; "*bölgedeki yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik potansiyel tespit ve uygun yatırım alanları çalışmaları yapılacağı*" taahhüt edilmiştir [40].

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan **Ardahan-Kars-Iğdır-Ağrı Planlama Bölgesi 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı**'nda Planlama İlkeleri kısmında "*rüzgar, güneş ve jeotermal gibi doğal enerji kaynaklarının, altyapı yatırımlarında, tarım ve turizm sektörlerinde kullanılmasının desteklenmesi sağlanacaktır*" denmektedir. Aynı planın 24.02.2014'te son hali verilmiş Enerji Üretim Alanları için ayrılmış bölümünde **"***yenilebilir enerji (rüzgar, güneş, jeotermal, HES) üretim alanlarında, ilgili kurum ve kuruluşlardan alınan izinler ve EPDK tarafından verilecek lisans kapsamında, Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı'nın uygun görüşü alınması koşuluyla, 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı değişikliğine gerek olmaksızın, ilgili kurum ve kuruluş görüşleri doğrultusunda hazırlanan imar planlarının ilgili idaresince onaylanmasını müteakip uygulamaya geçilir. Onaylanan planlar sayısal ortamda veri tabanına işlenmek üzere bakanlığa gönderilir*" denilerek yenilenebilir enerjiye sağlanan teşvik ve telkin gösterilmektedir [41].

SERKA 2014 Yılı Çalışma Programı Sektörel Raporların Hazırlanması kısmında da, "*Bölgenin bitkisel ve hayvansal üretim, yenilenebilir enerji sektörlerinin ve bölgeye özgü yöresel ürünlerin gelişimine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetleri planlanacak, geliştirilecek ve paydaşlarla işbirliği içerisinde inceleme, rapor ve fizibilite çalışmaları yürütülecektir. Hazırlanacak raporlar, ilgili sektörde faaliyet gösteren firmalara, kamu kurumlarına ve sivil toplum kuruluşlarına sunulacaktır*" denmekte; Bu kapsamda hazırlanması öngörülen başlıca çalışmalardan biri de "*yenilenebilir enerji kaynakları araştırmaları*" olarak belirlenmiş; "*Çalışmaların gerçekleştirilmesi için gerekli görülmesi halinde Kalkınma Bankası, DEİK,*

Kalkınma Bakanlığı vb. kamu kurum kuruluşlar ile işbirliği gerçekleştirilecek veya özel kurumlardan hizmet alımı yapılacağı" planlanmıştır. Nitekim Ocak 2015'te TRA2 Bölgesi Yeşil Enerji Kaynakları Sektör Raporu hazırlanarak, yenilenebilir enerjiye genel bir pencereden bakılmıştır. Ancak bu çalışma, bölgenin muhtemel enerji kaynaklarına odaklanmış olması hasebiyle bir fizibilite veya detay yatırım raporu olarak değerlendirilmemelidir. SERKA, planlarındaki çevresel sürdürülebilirlik kaygısına tedbir amacıyla enerji kaynaklarının etkin kullanılması faaliyetlerine Teknik Destek, Doğrudan Faaliyet Desteği ve Güdümlü Projeler aracılığıyla destek mekanizmaları çalıştırmıştır ve çalıştırmaktadır [42].

SERKA Iğdır'ın Sosyo-Ekonomik Durumu ve Uygun Yatırım Alanları Raporu'nun Ticaret ve Sanayi, Enerji ve Madenler Sektörü, Iğdır'ın güçlü yönleri ve fırsatlarından bahsederken güneş enerjisi potansiyelinden bahsetmemektedir! Bu çalışma yayınlandıktan sonra artık güneş enerjisi potansiyeli de Iğdır için yatırım değerlendirmelerinde bir güçlü yön ve fırsat olacaktır [43].

1.3.4. Kanun, yönetmelik, tebliğ

Uluslararası ve ulusal belgelerde sunulan taahhüt ve hedeflere erişmemizi sağlayacak düzenlemeler kanun, yönetmelik, tebliğ, genelge ve kararlar ile şekillenmektedir. FV güneş elektriği yatırım, girişim ve uygulamalarını etkileyecek iç mevzuatımız enerji, çevre, tarım, tabii kaynaklar ve mali düzenlemelerin tamamıyla ilişkilendirilerek analiz edilebilir. Bu çalışma kapsamında birincil tabi olunan kanuni düzenlemelere yer verilmiştir.

2001 tarihli 6446 sayılı **Elektrik Piyasası Kanunu** (son revizyon 2013), "*elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösteren, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin yapılmasının sağlanması*"nı amaçlar. Elektrik piyasamıza köklü değişiklikler getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına, hatta güneş enerjisine dayalı olarak elektrik enerjisi üretimi kanuni olarak tanınmış, piyasadaki konumu birinci seviyede tarif edilmiştir. Kanun ile üretimden tüketime kadar olan farklı aşamalar için önlisans ve lisanslama süreçleri başlamıştır. Lisansa tabi olmadan yürütülebilecek faaliyetler de Lisanssız olarak tanımlanmıştır. YEK ile üretilecek elektriğin alım garantisi de bu kanun ile hükme bağlanmıştır. TEİAŞ tarafından piyasa işletim lisansı kapsamında işletilen organize toptan elektrik piyasalarının mali uzlaştırma işlemleri ile birlikte gerekli diğer mali işlemleri de yürütecek EPİAŞ da bu kanuna dayanarak kurulmuştur [44].

5346 sayılı **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun** 2005 tarihlidir, son revizyonu 17 Haziran 2016'da yapılmıştır. Amacı "*yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan*

imalat sektörünün geliştirilmesi"dir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımı bu kanun ile yapılır; güneş enerjisi de bu kanun ile yasal olarak da bir yenilenebilir enerji olarak kabul edilmiştir. FV güneş elektriği için alım garantisinde uygulanacak fiyatlar ile yerli katkı ilavesi bu kanunda ifade edilir. Yine yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösterenlerin faydalanabileceği fiyat, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin usul ve esasları içeren YEK destekleme mekanizması (YEKDEM) ile Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) da bu kanun ile tanımlanmıştır [45].

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile işlerlik kazanan YEKDEM, 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girmiş ya da girecek olan FV GES'lere 10 yıl süre ile uygulanabilmektedir. Sadece lisanslı değil lisanssız FV GES'ler de ürettiği elektriği görevli tedarik şirketlerine satabilmektir. Görevli tedarik şirketleri lisans süreleri boyunca YEKDEM'in doğal katılımcıları olduğundan, Lisanssız Elektrik Yönetmeliği kapsamında faaliyet gösteren gerçek ve tüzel kişiler işletmeye geçtiği tarihten itibaren 10 yıl süre ile görevli tedarik şirketleri vasıtasıyla ihtiyaç fazlası enerji için 0,133 $c/kWh fiyattan yararlanır. Ayrıca Üretim tesisinde yerli aksam kullanılması ve ilgili yerli aksamın "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" hükümleri ve diğer ilgili mevzuat kapsamında belgelenmesi halinde ise bu fiyatlara yine YEK Kanunu Ek-II sayılı cetvelinde yer alan fiyatlardan beş yıl süreyle ilave edilir. YEKDEM'in senelik işleyen bir mekanizma olması nedeniyle bir sonraki takvim yılında YEKDEM'den faydalanmak isteyen üretim lisansı sahipleri 31 Ekim tarihine kadar EPDK'ya başvuruda bulunmak zorundadır. 2016 itibariyle 15.577 MW'lık YEK kurulu gücü YEKDEM yararlanıcısıdır.

FV güneş elektriğine dayalı bir tesis kurmak için girişime başlandığında uyulması tabi olunan diğer yükümlülükler için asgari şu kanunlara bakmak uygun olacaktır:

- Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik Üretimi, İletimi, Dağıtımı ve Ticareti İle Görevlendirilmesi Hakkında Kanun
- Çevre Kanunu
- Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu
- Mera Kanunu
- Türk Ticaret Kanunu
- Vergi Usul Kanunu

Son revizyonu 23 Aralık 2015'te yapılan elektrik piyasasındaki önlisans ve lisanslandırma uygulamalarına ilişkin usul ve esaslar ile önlisans ve lisans sahiplerinin hak ve yükümlülüklerinin belirlendiği **Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği,** güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kurmak amacıyla yapılacak önlisans başvurularının usulünü, önlisans süresi içerisinde tamamlanması gereken iş ve işlemler ile güneş ölçümlerine ilişkin yükümlülük ve standartları tarif etmektedir [46].

23 Mart 2016 tarihinde son halini alan **Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik** *tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarının tüketim noktasına en yakın üretim tesislerinden karşılanması, arz güvenliğinin sağlanmasında küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve etkin kullanımının sağlanması, elektrik şebekesinde meydana gelen kayıp miktarlarının düşürülmesi amacıyla lisans alma ile şirket kurma yükümlülüğü olmaksızın, elektrik enerjisi üretebilecek gerçek veya tüzel kişilere uygulanacak usul ve esasları* belirler. Bu kapsamda lisans alma ile şirket kurma muafiyeti, bağlantı ve sistem kullanımına ilişkin hükümler, başvurunun değerlendirilmesi ve sonuçlandırılması, üretim kaynak belgesine ve teknik hususlara ilişkin hükümler, ihtiyaç fazlası enerjinin tespiti ve satın alınması ile diğer ticari hükümler, yerli ürün kullanımının desteklenmesi gibi konular açıklığa kavuşturulmaktadır [47].

29 Nisan 2016'da güncellenen **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik** ile Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi verilmesi, YEKDEM kuruluşu, işleyişi ve kayıt esasları ile bu kapsamda tarafların hak ve yükümlülükleri açıklanmaktadır [48].

24 Haziran 2016 itibariyle son hali yürürlüğe giren **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Yerli Aksamın Desteklenmesi Hakkında Yönetmelik** ise yurt içinde imal edilerek yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten tesislerde kullanılan aksamın ve/veya aksamı oluşturan bütünleştirici parçaların, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun ekinde yer alan II sayılı Cetvele göre ilave fiyatın uygulanabilme koşulları ile her bir başvuru kapsamında uygulanacak ilave fiyat miktarının belirlenmesi, belgelendirilmesi ve denetlenmesi ile ilgili usul ve esasları düzenlemektedir [49].

9 Şubat 2016 son güncellemeli **Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği**, kurulu gücü 10 MWe ve üzeri güneş enerjisi santrallerini, Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi'nde; Kurulu gücü 1-10 MWe olan güneş enerjisi santrallerini (çatı ve cephe sistemleri hariç) de Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi'nde göstermektedir [50].

Bunlarla birlikte dikkate değer diğer yönetmelikler ise:

- Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik
- Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik
- Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği
- Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği
- Elektrik Şebeke Yönetmeliği
- Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik
- Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği
- Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği

- Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği
- Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği

23 Mart 2016'da revizyona uğrayan **Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliği**'n bağlantı ve sistem kullanımına ilişkin hükümleri, bağlantı başvurularının yapılması ve değerlendirilmesini, başvuruların derlenmesi, değerlendirilmesi ve ilanını, bu süreçte uyulması gereken temel standartlar ile uzaktan izleme ve kontrol, koruma, ölçme sistemlerini, sisteme bağlantı onayı ve devreye alma şartlarını, enerjinin üretimine, tüketimine ve satın alınmasına ilişkin esasları düzenlemektedir [51].

Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ, Meteoroloji Genel Müdürlüğünce GES önlisans başvurusu yapacaklar için kurmak ve çalıştırmak zorunda oldukları Güneş Ölçüm İstasyonu için nitelik, başvuru, kontrol ve iletişim ile eksik veri tamamlama, verilerin kontrolü ve değerlendirilmesi süreçlerini tanımlamaktadır [52].

19 Kasım 2015 tarihinde Ekonomi Bakanlığı İthalat Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan **İthalatta Gözetim Uygulanmasına İlişkin Tebliğ** ile "Güneş pili (solar) (bir modül halinde birleştirilmiş veya panolarda düzenlenmiş olsun olmasın)" gözetim altında ithal edileceği belirtilmiştir. Tedarikçi ülke ya da firma kayıtları (kapasitesi, cirosu, kalite belgeleri, mali verileri) ayrıntılarıyla tutulacak; İthalat Genel Müdürlüğünce düzenlenecek gözetim belgesi olmayan ithalatçılar, ekipmanı kg başına 35 $'dan çarpıp KDV`sini ödeyerek ülkeye sokabileceklerdir [53].

1 Temmuz 2016 tarihli Ekonomi Bakanlığı'nın **2016/29 sayılı İthalatta Haksız Rekabetin Önlenmesine İlişkin Tebliğ** ile Çin Halk Cumhuriyeti menşeli "Güneş pili (solar) (bir modül halinde birleştirilmiş veya panolarda düzenlenmiş olsun olmasın) (Yalnız güneş panelleri)" ürününün ithalatına ilişkin olarak damping soruşturması açılmış ve açılan soruşturmanın usul ve esaslarını belirlemiştir. Soruşturma süreci devam etmektedir [54].

ETKB **Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri**'ni 11 Ağustos 2011 tarih ve 28022 sayılı Resmi Gazetede yayımlayarak Türkiye'de ilk güneşten elektrik üretme için lisans sürecini başlatmıştır. Bu duyuruda 600 MW'lık kapasite 36 ayrı il için açıklanırken, Iğdır ili güneş enerjisi potansiyelinin yetersizliği gerekçesiyle maalesef yer almamıştır. Başvuruların 1650 kWh/m^2-yıl'dan yüksek verimde olma ve ETKB'nin belirlediği alanlar içerisinde kalma zorunluluğu getirilmiştir. Daha sonra ETKB, 4 Şubat 2012 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan ilan ile değişikliğe giderek, güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi kurulması için proje geliştirilmesi gereken alanlara ilişkin sınırlandırmayı kaldırmış; güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi kurmak için yapılacak lisans başvuruları kapsamında sunulacak olan standardına uygun ölçümlerde 1650 kWh/m^2-yıl olan yatay yüzeye gelen yıllık toplam güneş radyasyonu alt sınır değerini 1620

kWh/m²-yıl olarak revize etmiştir. Bu çalışma ile bahse konu değişiklik ve gerekçelerin teknik irdelemesi de yapılmış olmaktadır [4].

2. IĞDIR'IN COĞRAFİK VE METEOROLOJİK ANALİZİ

2.1. Fiziki ve Coğrafi Analiz

2.1.1. Tarih

Iğdır bölgesine ilk yerleşen kavim Orta Asya'dan M.Ö.-4000 tarihinde gelen Hurilerdir. Iğdır'ın adı; 24 Oğuz boyundan ikincisi sayılan Üç-Ok koluna mensup Oğuz Han'ın altı oğlundan biri olan Cengiz Alp'in en büyük oğlu "Iğdır Beğ"den gelmektedir. Bu boyun ilk başbuğu Iğdır Beğ'dir. Iğdır kelime olarak "iyi, büyük, ulu, ünlü, yiğit, başkan ve bahadır" gibi anlamlara gelmektedir [55].

2.1.2. Coğrafya

Iğdır İli, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Erzurum-Kars Bölümünde yer alır. 44° 048' doğu boylamı ve 39° 056' kuzey enlemi Iğdır İli toprakları üzerinden geçmektedir. Iğdır Ovası'nın güneydoğuya doğru bir uzantısı durumunda olan Dil Ovası (Dil Ucu), aynı zamanda ülkemizin en doğu uç noktasını (44° 48') oluşturur. Kuzey ve kuzeydoğu sınırını Aras Nehri ve bu nehrin yatağı boyunca uzayan Ermenistan sınırı teşkil eder. Güneydoğusunda ve doğusunda Nahcivan ile İran, güneyde Ağrı İli, batı ve kuzeybatısında Kars İli yer almaktadır (Şekil 2-1). Iğdır Ovası Doğu Anadolu Bölgesi'nin mikroklima özelliği gösteren, en alçak ve yüzölçümü en geniş olan ovalarından biridir. Doğu Anadolu gibi yüksek platolar ve dağlık bölgelerin geniş yer kapladığı bir bölgede bulunan Iğdır ili, çevresine göre gerek iklim gerekse toprak ve bitki örtüsü gibi doğal çevre özellikleri bakımından oldukça değişik özellikler göstermektedir.

İlin yüzölçümü 3.588 km^2'dir. Iğdır Ovasının ortalama yüksekliği 800-900m arasında değişmektedir. İlin % 26'sını (922 km^2) ova, % 74'ünü (2.617 km^2) dağlık ve engebeli alan oluşturur. İlde Merkez İlçe ile birlikte 4 ilçe 3 belde ve 156 köy bulunmaktadır. Bu ilçelerin merkeze olan uzaklıkları ile yüzölçümleri aşağıda gösterilmiştir (Tablo 2-1).

Şekil 2-1 Iğdır ve Türkiye'deki konumu

Tablo 2-1 İlçelerin merkeze uzaklıkları ve yüzölçümleri [56]

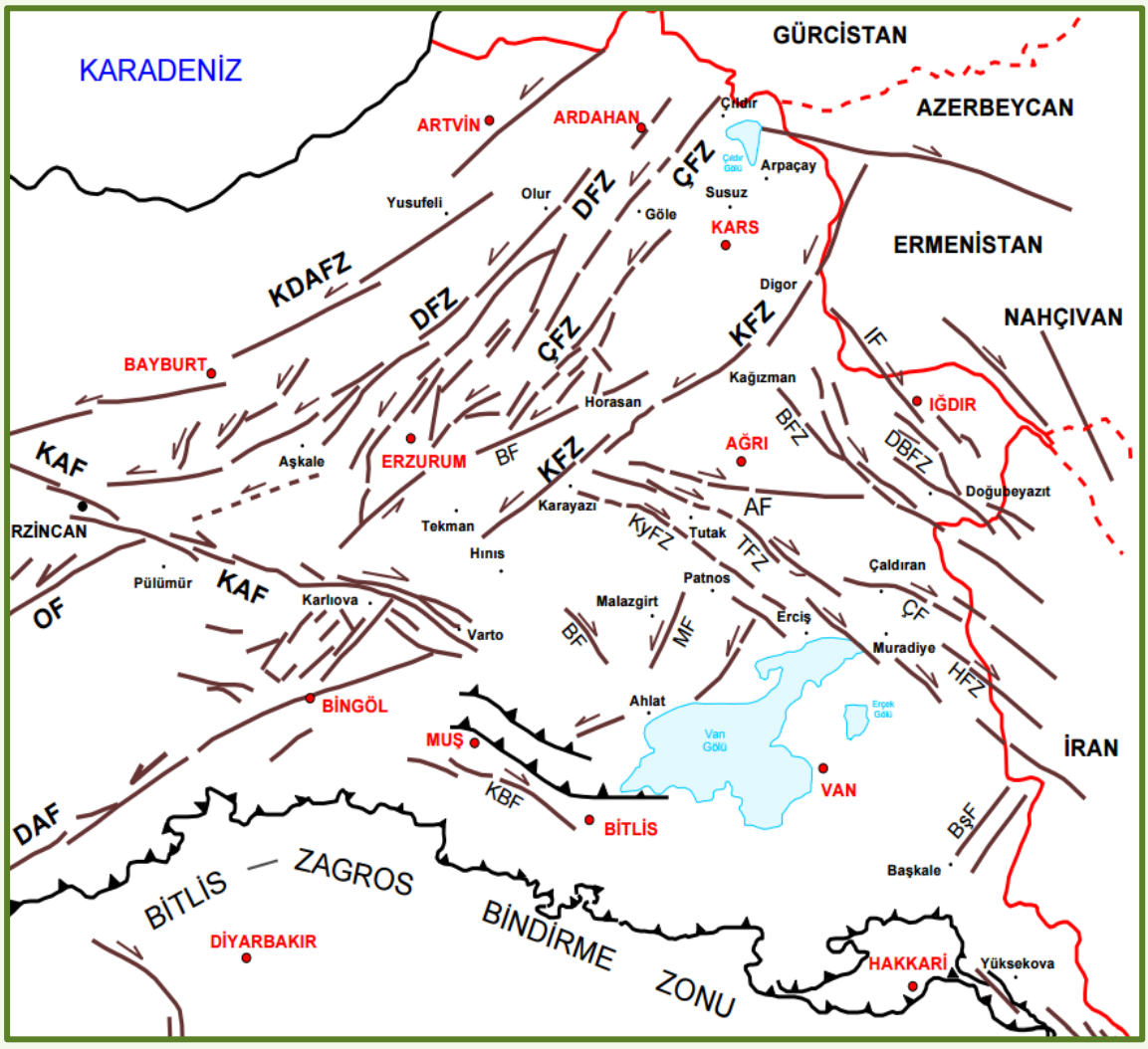
İlçe	Merkeze uzaklığı, km	Yüzölçümü, km^2
Merkez		1.431
Aralık	45	709
Karakoyunlu	14	194
Tuzluca	38	1.254

2.1.3. Topoğrafya ve jeomorfoloji

Iğdır, Doğu Anadolu Bölgesinin Erzurum-Kars Bölümü ile Yukarı Murat-Van Bölümü arasındadır, Iğdır Ovasını içine alır. Bölgenin güneyinde, kabaca batı-doğu doğrultusunda uzanan Orta Toroslar'ın uzantısı ve Munzur dağlarıyla başlayıp Karasu-Aras dağlarıyla devam eden dağlık kütlenin doğudaki bölümü bulunur. Her biri sönmüş birer volkan olan dağlar batıdan doğuya sırasıyla Durak Dağı (2.811 m), Zor Dağı (3.196m), Zor Dağlarında Haçça Tepesi (2.486 m), Köroğlu Tepesi (2.895 m), Pamuk Dağı (2.639m), Büyük Ağrı Dağı (5.137m) ve Küçük Ağrı Dağı (3.896 m)'dır. Türkiye'nin en yüksek dağı olan Ağrı Dağı, İran ile tabii bir sınır teşkil eder. Anadolu ile Asya'dan uzanan sıradağların bir nevi buluşma noktasıdır. Dağın 5.000 m yükseklikteki kesiminde devamlı kar ve buzullarla kaplı bir "krater düzlüğü"nün bulunduğu kabul edilmektedir. Büyük ve Küçük Ağrı Volkanik dağları arasında 2687 m yüksekliğinde Serdarbulak Geçidi bulunur.

Aras Nehri boyunca doğu-batı doğrultusunda uzanan Iğdır Ovası, Batı Iğdır Ovası, Doğu Iğdır Ovası ve Dil Ovasından oluşmaktadır. Batı ve Doğu Iğdır Ovası 832 km^2, Dil Ovası ise 90 km^2'lik alanı kaplar. Iğdır Ovasının Türkiye-İran sınırına kadar uzaklığı 100 km'ye yaklaşır. Ortalama ova genişliği 20 km. kadardır. Deniz seviyesinden yüksekliği güneyden-kuzeye ve batıdan-doğuya doğru gidildikçe azalmaktadır. Ortalama yüksekliği 850 m'dir. Bağıl yükseklikleri 60 metreyi aşmayan Kireçtepe ve Ateştepe gibi yükseltiler hariç tutulursa tamamen engebesiz ve düz bir ovadır. Deniz seviyesinden yüksekliği batıda Çalpala Köyü

dolaylarında 910 m, doğuda Dil Ucunda 795 m'dir. Ova yüzeyinde ortalama eğim % 1-2 arasında değişmektedir. Aras Nehri taşıdığı sedimentlerle kendi yatağını yükseltmiş ve ova yüzeyinin üstüne çıkmıştır. Eğim doğrultusu, Aras Nehrinden itibaren güneydoğuya doğrudur. Volkanik hareketin geçmişte çok yaşandığı, volkanik dağ ve toprak yapısının izlerinin hala görülebildiği Iğdır'ın il sınırları içerisinde kalan alan 2. derece deprem bölgesidir (Şekil 2-2).



Şekil 2-2 Doğu Anadolu Diri Fay Haritası, MTA Bölge Müdürlüğü, 2011 [57]

2.1.4. Toprak yapısı ve arazi kullanımı

Aras Nehrinin, Iğdır Ovası topraklarının bünyesi üzerinde büyük etkisi olmuştur. Geçmiş devirlerde taşkınlar ve Aras Nehrinin yatak değiştirmelerine bağlı olarak kil, silt, kum ve değişik bünyede topraklar oluşmuştur. Ovada granüler yapıda olan topraklarda geçirgenlik, su tutma kapasitesi ve havalandırma gibi özelliklerin elverişli oluşuna karşılık, diğer yapılardaki topraklarda bu özellikler zayıftır. Ova topraklarının büyük bir kısmında derinlik 150 cm'den daha fazla olup, batıdan doğuya doğru gidildikçe, toprak kalınlığı genellikle artmaktadır. Toprak derinliğini sınırlayan çakıl ve kum katmanları olup, bu katmanlar, Aras

nehrinin geçmiş devirlerde yatak değiştirmeleri sonucu oluşmuştur. Bundan dolayı bazı alanlarda toprak derinliği 10 cm'ye kadar iner. Genetikleri yönünden azonal topraklar sınıfına giren ova topraklarında hakim olan formasyon bazalttır. Bazaltlar üzerinde muhtelif zamanlarda farklı yerlerden taşınmak suretiyle alüvyal karakterli toprak örtüsü oluşmuştur. Batı ve güneydeki yamaç araziler kolüvyal karakterlidir.

İlin toplam yüzölçümü 358,800 hektar olup, bunun 85.421 hektarı tarım arazisi, 146.571 hektarı çayır mera arazisi, 2.233 hektarı orman arazisi, 27.350 hektarı nadas ve 106.706 hektarı diğer araziler olarak dağılım göstermektedir (*Kaynaklarda farklılıklar var, Dr.LY*). Şehir merkezinde yeşil alanların, park bahçe ve oyun alanlarının kent içindeki toplam oranı % 10 (143,1 km^2) araçların kullanıldığı trafik yollarının ve yaya yollarının toplam alan içindeki oranı % 20 civarındadır. Iğdır'ın 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı 2011 yılında Ardahan, Kars, Iğdır ve Ağrı'yı kapsayacak şekilde hazırlanmış ve 02.04.2012 tarihinde yürürlüğe girmiştir [41].

Arazi Kullanım Verileri:

Iğdır'da I-IV. sınıf araziler 96.949 Ha olup, 53.183 Ha alanda tarım yapılmakta, 25.706 Ha'lık alanı I. sınıf tarım arazisini oluşturmaktadır. 207.132 Ha alanı kaplayan V-VII. sınıf arazilerin 8.842 Ha'lık bölümünde işlemeli tarım yapılmakta olup, büyük bir kısmını oluşturan çayır-mera alanları VI. ve VII. sınıf araziler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Kullanma kabiliyet sınıfları sekiz adet olup, toprak zarar ve sınırlandırmaları I. sınıftan VIII. sınıfa doğru giderek artmaktadır (Tablo 2-2).

Tablo 2-2 Iğdır İli toprak sınıflarına göre arazi kullanım durumu [58]

Tarımsal alanların sınıf dağılımı, Ha										
Yerleşim	Diğer	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 6	Sınıf 7	Sınıf 8	Toplam
Merkez		24862	3200	4900	20000		31150	37597	10500	132209
Aralık		0	1221	24032	4790		33000	13255	9300	85598
Tuzluca		844	1450	5820	5830	650	35500	55800	20900	126794
Karakoyunlu										0
Iğdır	14199	25706	5871	34752	30620	650	99650	106652	40700	344601
Pay	%	7	2	10	9	0	29	31	12	100

SINIF - I: Topoğrafyası düz arazilerdir. I. sınıf arazilerin kapladığı alan 25.706 Ha olup il yüzölçümünün % 7'sini teşkil etmektedir. Bu arazilerin 24.433 hektarında sulu tarım yapılmaktadır. 1.273 hektarlık alan bağ-bahçe olup, tamamı düz arazi üzerindedir. Her türlü kültür bitkisinin yetiştirilmesine elverişli derinliği ve eğim derecesi ile tarıma çok uygundur. Toprak özellikleri çeşitli bitkilerin yetiştirilmesine olanak sağlarken, entansif tarım uygulanmasında esas olan sulama, eğim, drenaj şartlarının elverişliliği nedeniyle bu yöntem kolaylıkla tatbik edilebilir. Hemen hemen bütünüyle Batı Iğdır Ovasında yayılış gösterir.

SINIF- II: Toplam miktarı 5.871 hektardır ve il yüzölçümünün % 2'sini kapsar. Düz ve hafif eğimli arazilerdir. Bu arazilerin; 1.280 hektarında kuru tarım, 2.203 hektarında sulu tarım yapılmaktadır. 72 hektarı bağ-bahçe, 1.067 hektarı çayır-mera ve 1.221 hektarı funda arazisidir.

SINIF- III: Kapladığı 34.752 hektarlık alan ile ilin % 10'unu teşkil eder. Bu alanların kullanım durumları ise şöyledir: 2.945 Ha kuru tarım, 9.293 Ha sulu tarım, 1.110 Ha bağ bahçe, 15.779 Ha çayır-mera, 6.187 Ha orman-funda gibi dağılıma sahiptir. Toprak derinliği fazla değildir, taşlık oranı ise yüksektir.

SINIF- IV: İlin 30.620 hektarlık alanına sahip olup, % 9'luk bölümünü kaplamaktadır. Bu alanların kullanım durumları ise şöyledir; 7.619 Ha kuru tarım, 2.478 Ha sulu tarım, 477 Ha bağ-bahçe, 33.907 Ha çayır-mera alanlarıdır.

SINIF- V: 650 hektarlık alanı ile ilin % 0,20'sini kaplamaktadır. Tuzluca İlçesi sınırları içinde önemli yer tutar ve çayır-mera alanları şeklindedir.

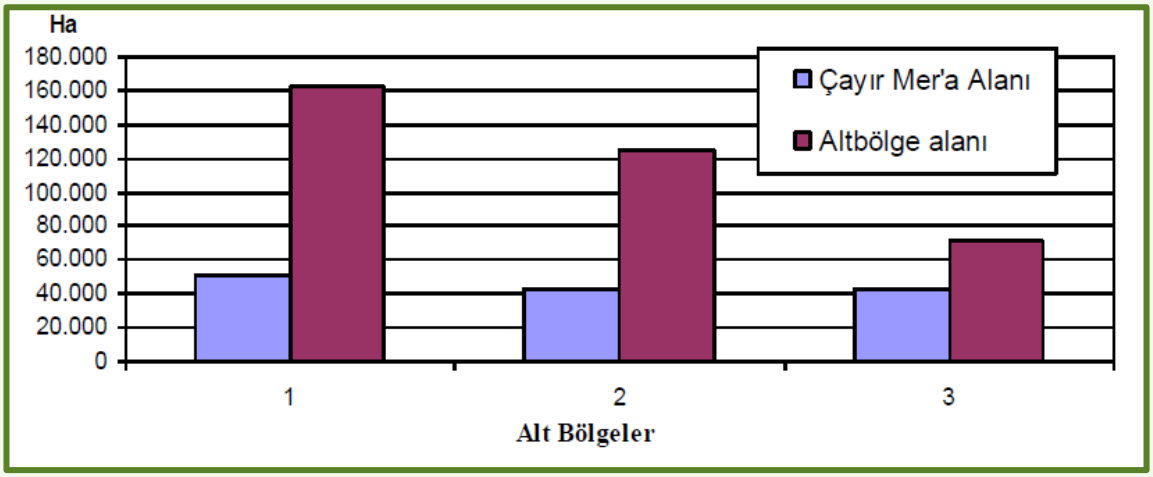
SINIF- VI: 99.650 hektarlık alanı ile ilin, % 29'unu kaplar. Bu toprakların kullanım durumları ise şöyledir: 5.956 hektarında kuru tarım, 2.884 hektarında sulu tarım yapılmaktadır. 90.733 hektarında çayır-mera, 233 hektarında funda alanı mevcuttur.

SINIF- VII: 106.652 ha alanı ile ilin % 31'lik kısmını kaplar. VII. sınıf arazilerde tarım yapılmamaktadır. Toprağın sığ oluşu yanında taşlık oranı da yüksektir. Güneydeki dağlık yörede görülen bu sınıf arazilerden otlak olarak yararlanılmaktadır.

SINIF- VIII: VIII. sınıf araziler kapladığı 40.700 Ha alan ile il topraklarının % 12'sini oluşturur. Bu sınıf araziler; sazlık-bataklık, ırmak taşkın yatakları, çıplak kaya ve moloz, yerleşim alanları ve su yüzeyleri alanları içine dahil edilmiştir.

Arazi sınıfları incelendiğinde tarım yapılmayan, dolayısıyla atıl durumdaki VII. Sınıf toprak yapısına sahip alanların, FV güneş elektriği kurulumu için uygun olabileceği değerlendirilebilir. Bu haliyle ilin üçte birinin VII. sınıf olduğu düşünülürse FV GES için alan tahsis etmek veya arazi temini oldukça kolay ve verimli olacaktır!

Iğdır ili çayır mera ve orman durumu: Iğdır ilinde çayır ve mera alanlarının kapladığı toplam alan 146.571 hektardır. İlin çayır mera alanlarının %16'sı derin, % 11'i orta derin, %40'ı sığ, %33'ü çok sığ topraklardan oluşmaktadır. Bu alanların 34.573 hektarı düz, 13.424 hektarı hafif, 39.785 hektarı orta, 161.254 hektarı ise dik araziler üzerinde yer alır. Alt bölgelerin yüzölçümleriyle mera alanları karşılaştırıldığında, III. alt bölgenin yüzölçümünün % 59,8'ini çayır-mera alanlarının oluşturduğu görülmektedir. II. alt bölgenin yüzölçümünün ise %34,7'si çayır-mera alanıdır. I. alt bölgede ise oran % 31,2'dir (Şekil 2-3). Iğdır yüzölçümünün % 0,6'sını (561 Ha) orman ve fundalık alanlar oluşturmaktadır. Orman-fundalık alanların % 78'i III. sınıf arazilerde bulunmaktadır. Orman varlığı yok denecek kadar azdır.



Şekil 2-3 Çayır mera ve alt bölge alanları

2.1.5. Korunan alanlar

Ağrı Dağı Milli Parkı, 01.11.2004 tarih ve 2004/ 8078 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile ilan edilmiştir. Toplam alanı 87.380 hektar olan Ağrı Dağı Milli Parkı Türkiye, Ermenistan, Nahcivan ve İran Devlet sınırlarının kesişme noktası yakınında, Ağrı ili, Doğubayazıt ilçesi, Iğdır ili, Aralık ve Karakoyunlu ilçelerinin sınırları içerisinde yer almaktadır. Ağrı Dağı Milli Parkı sınırları içerisindeki Büyük Ağrı Dağı, 5137 m. yüksekliği ile Türkiye ve Avrupa Kıtasının en yüksek ve Dünyanın da ikinci en büyük volkanik dağı unvanına sahip olup açık havalarda Ermenistan, Nahcivan, Azerbaycan ve İran toprakları ile Erzurum, Van, Kars, Bitlis yörelerinden görülebilecek büyüklüktedir.

Ulusal ve uluslararası öneme sahip doğal ve kültürel kaynak değerleri olan Ağrı Dağı, eşsiz peyzaj özellikleri, jeolojik-jeomorfolojik oluşumları ve endemik bitki ve hayvan çeşitleriyle Eko Turizm, Doğa Turizmi, Kayak, Dağcılık Sporu, Yamaç Paraşütü ve Sportif Olta Balıkçılığı ile Ağrı Dağı Milli Parkı sınırları içerisinde yer alır. Kalınlığı 50 m ile 100 m arsında değişen Türkiye'nin en büyük buzuluna sahiptir. Aşağılara inildikçe lav akıntılarının oluşturduğu kokurdanlıklar bulunur. Tüm sınırlar içerisinde arazi çok sarp ve engebelidir.

Bir diğer korunan alan 65.130 ha büyüklüğündeki **Aras Karasu Taşkınları**'dır. Iğdır ili Tuzluca İlçesi Kars sınırında bulunan bölge Aras nehrinin geçiş yolundadır. Doğa yürüyüşü ile Ornitoloji (Kuş gözlem faaliyetleri), Foto safari araştırma ve gezileri gibi sportif faaliyetler yapılabilmektedir. Askeri, kamu arazisi ve içerisinde özel mülkiyetli araziler bulunmaktadır [59].

Bunlara ek olarak Korhan Yaylası, Karakoyunlu eski yerleşim yeri, Asma köy eski yerleşim yeri ve Kültepe Höyüğü olmak üzere 4 adet sit alanı bulunmaktadır. Doğa Koruma ve Biyoçeşitlilik açısından bakıldığında İl'de orman alanı yoktur ancak halen İl Müdürlüğü tarafından 3.390 ha'lık alan, erozyonla mücadele kapsamında orman alanı olarak tahsis edilmiş ve ağaçlandırılmıştır. İlde sulak alan olarak göl statüsünde olabilecek 135 ha'lık Ağrı Dağı'ndan çıkan su kaynakları ile beslenen Bulakbaşı Sazlığı bulunmaktadır. Flora çeşidi

olarak Ardıç, Gürgen, Huş, Söğüt, Kafkas Üçgülü, Kırmızı Üçgül, Aküçgül, Yabani Fiğ, Yabani Yonca, Kılçıksız Brom, Tilki Kuyruğu, Koyun Yumağı, Yabani Arpa, Yabani Buğday, Yabani Çavdar öne çıkmaktadır.

2.1.6. Hava kalitesi ve karbon salımı

İlde hava kirliliğinin oluşumunda topoğrafik faktörler, evsel ısınma ve meteorolojik faktörler etkilidir. Iğdır 1. derece kirli iller kapsamında olup, İl'de ısınma amacıyla odun, kömür ve fuel-oil kullanılmaktadır. 2016 yılı Ağustos ayı itibariyle şehir merkezinde doğalgazın kullanımına başlanmıştır. İlin etrafının yüksek dağlarla çevrili oluşu, rüzgâr hızının çok düşük seviyelerde olması, ilin mikro klima özelliği nedeni ile hava tabakasının bir sera gibi kapatması, kış dönemi öncesi baca ve kalorifer kazanlarının temizlik ve bakımlarının yaptırılmaması, kalorifer kazanının usulüne uygun ve yetkin kişilerce yakılmaması gibi nedenler, özellikle kış aylarında hava kirliliğine sebep olmaktadır. İlin topoğrafik yapısı rüzgâr hızının genel olarak düşük seviyelerde olmasına neden olmakta ve kirli havanın rüzgarla dağıtılmasına engel olmaktadır. Bir başka neden plansız kentleşme ve göç fazlasının doğurduğu çarpık yapılaşma ve beraberinde gelen alt yapı sorunlarıdır. Ayrıca sosyal ve teknik alt yapı eksikliğinden kaynaklanan kirlilik de görülmektedir. İlde endüstriyel tesislerin fazla sayıda bulunmaması sebebiyle, endüstriyel tesislerin hava kirliliğine çok fazla etkisi olmamaktadır. Araç sayısındaki hızlı artış da Trafikten Kaynaklanan Emisyonları artırmaktadır. İlde hava kirliliğinden kaynaklanan olumsuz etkilerin giderilmesi ve iklim değişikliğine neden olan CO_2 emisyonlarının azaltılması amacıyla il genelinde yol boyunca ağaçlandırma çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Erozyonla mücadele ve yutak alanlarını büyütmek adına çıplak tepelerin teraslanarak ağaçlandırılması sağlanmaktadır.

2.1.7. Su kaynakları ve kalitesi

Dışa akışlı bir havza durumunda olan Iğdır İli, Aras Nehri ve kolları tarafından dış drenaja bağlanmaktadır. Kaynağını Bingöl dağlarından alan Aras Nehri Iğdır'dan geçerek Azerbaycan'da Kura Nehri ile birleşip Hazar Denizi'ne dökülür. İlin topografyasına şekil veren iki akarsu bulunmaktadır. Bunlar Aras Nehri ve Karasu Çayı'dır.

2.1.8. Nüfus ve idari yapı

2013 yılında il nüfusu 190.424, 2014 yılında 1.632 kişi artarak 192.056, 2015 yılında da 379 kişi artarak 192.435 olmuştur. Nüfusun % 54,8'i şehir merkezinde % 45,2'si ise kırsal kesimde yaşamaktadır. Yıllık nüfus artış hızı binde 8,2'dir. Kilometre kareye düşen nüfus yoğunluğu ise 54 kişidir. Net göç hızı binde -10,6'dır (Tablo 2-3).

Tablo 2-3 Iğdır mahalli idareler nüfus durumu

İlçeler	Şehir Nüfusu	Belde / Köy Nüfusu	Toplam
Merkez	86.567	45.543	131.110
Aralık	6.497	15.346	21.843
Karakoyunlu	2.626	11.303	13.929
Tuzluca	9.586	14.588	24.174
Toplam	105.276	86.780	192.056

2.1.9. Ekonomi

İlin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Sulanabilir tarım arazisi 97.041 ha, sulanan arazi 81.719 hektardır. Orman alanı 8.241 ha, çayır-mera 146.571 ha, kullanılmayan ve yerleşim alanı 91.471 ha, tarım alanı ise 118.525 hektardır. Çiftçi Kayıt Sisteminde kayıtlı çiftçi sayısı 5.864'dür. Tarım kolunda çalışanların toplam istihdama oranı ise Türkiye ortalamasının üstündedir.

Iğdır ovasında yetiştirilen bitkilerin başında buğday ve silajlık mısır, yonca gibi yem bitkileri gelir. Endüstri bitkilerinden şeker pancarı, pamuk, ayçiçeği yetiştirilebilmesine rağmen günümüzde üretimleri bulunmamaktadır. Meyveciliğin yoğun olarak yapıldığı Iğdır'da özellikle ova kesiminde bağcılık ve diğer meyve ağaçları geniş alanlar kaplar. Ovada sebze tarımı da diğer tarım ürünleri kadar geniş yer tutar.

Iğdır ilinde hayvancılık, tarımdan sonra gelen en önemli ekonomik faaliyettir. Hayvancılığın bu kadar önemli yere sahip olmasında doğa ve çevre şartlarının etkisi çok büyüktür. Iğdır ovası ve çevresinde yeryüzü şekilleri iklime bağlı olarak geniş otlak ve çayırlık alanlar şeklindedir. Bu durum modern ahırlarda besin değeri yüksek olan fabrika yemleri kullanılmasına ve verimi yüksek iyi cins hayvan yetiştiriciliğinin gelişmesine engel olmaktadır. Küçükbaş, büyükbaş, arıcılık ve kümes hayvancılığı yapılmaktadır.

İlde sanayi faaliyetleri yeni yeni gelişmektedir. Sanayi tesisleri genel olarak süt ve süt ürünleri gibi tarımsal üretimden sağlanan hammadde kaynaklarına dayanır. Bunun yanında son yıllarda metal ürünler, kimya (deterjan vb.), yapı malzemeleri üretimi de gittikçe ağırlık kazanmıştır. Ayrıca tekstil fabrikası, un fabrikaları, çırçır atölyeleri, meyve püresi ve konsantresi, soğuk lastik kaplama, tuğla fabrikası, keçe atölyeleri ve un değirmenleri sayılabilir.

Iğdır İli, yer altı kaynakları bakımından zengin bir yapıya sahip değildir. Tuzluca İlçesi'nde tuğlanın ham maddesi olan demir oksitli kil ile kaya tuzu bulunmaktadır. Aralık İlçesi ve Suveren Köyü dolaylarında pomza madeni mevcuttur. Tuzluca İlçesinde bulunan tuz yataklarının rezervi yaklaşık 800 milyon ton civarında olup, % 98 NaCl ihtiva etmektedir. Tuzluca İlçesinde bulunan Tekel'e ait Tuzluca Tuz İşletmesi özelleştirilmiştir. İlde Pomza rezervi 40 milyon ton'dur. Ayrıca İl sınırları içerisinde 5177 Sayılı Maden Kanununa göre

alınmış 7 adet Arama Ruhsatlı, 2 adet işletme Ruhsatlı 2 adet de ön arama ruhsatlı olmak üzere toplam 11 adet şahıs ve firma bulunmaktadır.

Sınır ticareti hayatının çok geliştiği Iğdır'da Nahcivan Özerk Cumhuriyeti üzerinden büyük bir ticaret bağlantısı vardır. Ülkemizin Türk Cumhuriyetleri ile bağlantı kapısı olan Dilucu Gümrük Kapısından her türlü ticaret eşyası ihraç edilmektedir. Yıllık 130 milyon ABD doları ihracatın %75'i Nahcivan'a, kalanı İran'a, az bir kısmı da diğer ülkelere yapılmaktadır.

İlde Anonim Şirket sayısı 98 adet, Limited Şirket sayısı 756 adet, Kolektif Şirket sayısı 1, kooperatif sayısı 59 adet olmak üzere toplam 914 adet şirket mevcuttur.

Esnaf ve Sanatkarlar Odaları Birliğine Bağlı 2 adet Şoförler ve Otomobilciler Odası, 4 adet Esnaf ve Sanatkar Odası ve 1 adet de Bakkallar ve Bayiiler Odası olmak üzere 7 adet oda mevcuttur. Iğdır Esnaf ve Sanatkarlar Siciline toplam 12.407 esnaf ve sanatkar kayıtlı bulunmaktadır. Ticaret ve Sanayi Odasına 994 gerçek kişi, 914 tüzel kişi olmak üzere 1.908 kişi kayıtlıdır.

Organize sanayi bölgesi I. etabında yapı malzemeleri, gıda, yem ve metal sektöründe 15 adet fabrika faaliyete geçmiştir. 6 adet fabrika inşaat halinde, 1 adet fabrika ise proje aşamasındadır. Iğdır-Kars devlet yolu üzerinde, şehir merkezine 24 km, havaalanına ise 12 km mesafede yer alan, toplam 200 hektar ve 105 parselden oluşan OSB'nin 67 hektar ve 22 parselden oluşan birinci etabının doğalgaz dışındaki altyapısı tamamlanarak yatırımcılara tahsis edilmiştir. Yoğun talep üzerine 133 hektar ve 83 parselden oluşan II. etabın altyapısına 2013 yılında başlanmış olup; 2016 yılı itibariyle arsa tahsislerinin yapılmasına başlanmıştır. Kars-Iğdır-Aralık-Dilucu Demiryolu hattı projesi kapsamında OSB yükleme ve boşaltma istasyonu yapılacaktır.

DSİ tarafından enerji üretmek amacıyla yapılan, yap-işlet-devret (YİD) modeli uygulanan ve şu anda işletmede olan 2 adet HES mevcuttur. 4 adet HES projesi de fizibilite aşamasındadır.

6000 yıllık tarihi olan Iğdır, Kültür ve Turizm açısından zengin olup, birçok tarihi eser barındırır. Merkez'de 27, Karakoyunlu'da 4, Aralık'ta 7 ve Tuzluca'da 27 adet olmak üzere toplam 65 adet tescilli kültür varlığı bulunmaktadır. Bu kültür varlıkları genelde kale, mezarlık, ev, kilise, kervansaray, anıt ve eski yerleşim alanlarından oluşmaktadır. İl sınırları içerisinde ayrıca Korhan Yaylası, Karakoyunlu eski yerleşim yeri, Asma Köy eski yerleşim yeri ve Kültepe Höyüğü olmak üzere 4 adet sit alanı bulunmaktadır.

İlde 4 adet 3 yıldızlı, 1 adet 2 yıldızlı ve 1 adet de 1 yıldızlı olmak üzere toplam yatak kapasitesi 573, yeme içme kapasitesi 730 kişi olan 6 adet konaklama tesisi bulunmaktadır. Ayrıca turizm yatırımı belgeli olup henüz işletmeye açılmamış, yatak kapasiteleri 270, yeme içme kapasitesi de 250 kişi olan 2 adet 3 yıldızlı konaklama tesisi bulunmaktadır [55].

2.2. Meteorolojik Analiz

2.2.1. İklim

İklim, geniş bölgelerde çok uzun zaman içinde gerçekleşen ortalama hava koşullarıdır. İklim aynı zamanda ekstrem hava olaylarını da içerirken; bir bölgenin hava olayları bakımından karakterini ve bitki örtüsünü de tayin eder. İklim tipleri sayısız denecek kadar çoktur. Çok sayıda bilim adamı, çok çeşitli iklim sınıflandırmaları yapmıştır. Bilim adamları arasında bu konuda çok farklılık vardır. Bu durum çeşitli araştırmacıların görüşleri arasındaki ayrılıkları ortaya koyduğu gibi her alanda kusursuz sonuç vermiş bir formülün bulunamamış olması şeklinde de yorumlanabilir. Formüllerin bir kısmı çok basit, bir kısmı ise oldukça karmaşıktır. Araştırmacıların iklim analizinde dikkate aldığı kriterler farklıdır. Bu çalışmada Trewartha, Aydeniz, Erinç, De Martonne ve Thornthwaite gibi bilim adamlarının yaptığı iklim sınıflandırmalarına göre Iğdır'ın değerlendirmesi incelenmiştir (Tablo 2-4 ve Tablo 2-5). Sonuç olarak, yöntemler arasında farklılıklar ortaya çıksa da; Türkiye genel olarak Karadeniz Bölgesi nemli, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Iğdır ve Trakya civarı kurak, diğer yerler ise yarı kurak veya yarı nemli iklim karakterine sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 2-4).

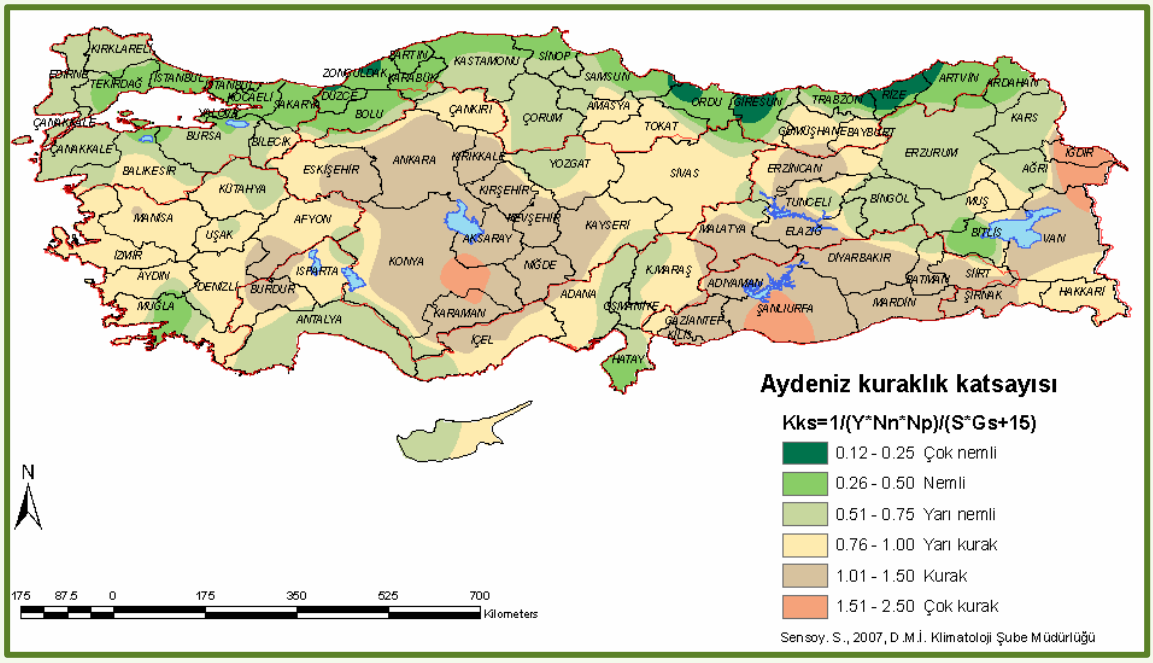
Tablo 2-4 Çeşitli yöntemlere göre hazırlanmış iklim sınıflandırmaları 1/2

İl	Uzun yıllık veriler				Trewartha iklim tipi		Aydeniz	Erinç	De Martonne
	Ocak ortalama sıcaklık	Temmuz ortalama sıcaklık	Yıllık ortalama sıcaklık	Yıllık yağış	Kış mevsimi	Yaz mevsimi	İklim tipi	İklim tipi	İklim tipi
Iğdır	-3,5	25,8	11,8	249,5	Kışları soğuk	Yazları sıcak	Çok kurak	Kurak	Yarı kurak

Tablo 2-5 Çeşitli yöntemlere göre hazırlanmış iklim sınıflandırmaları 2/2

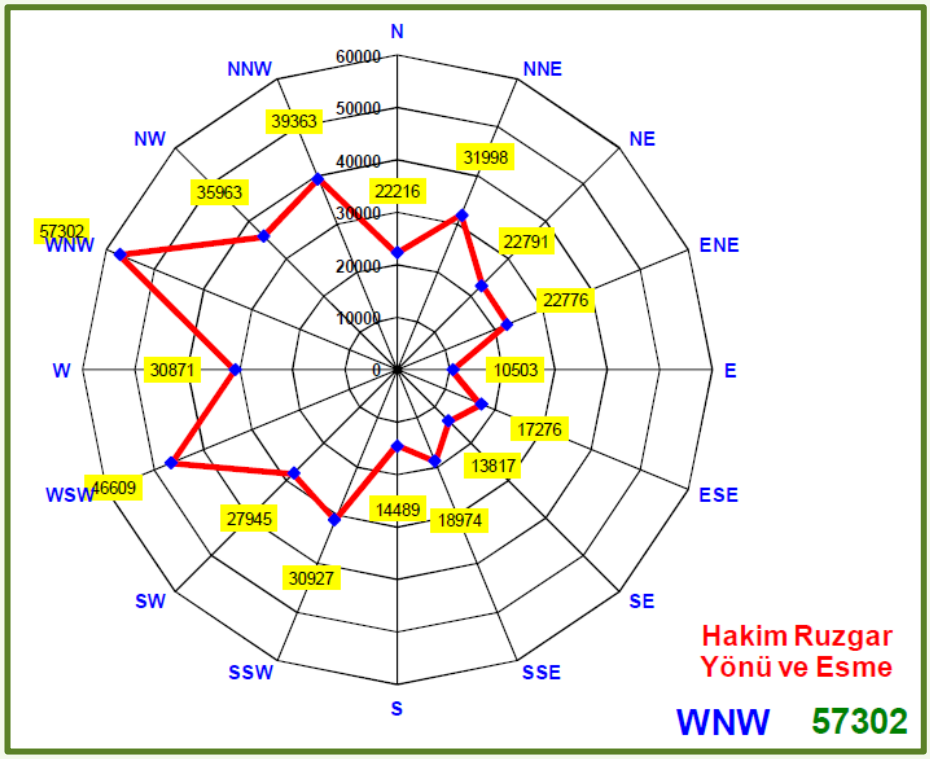
İl	Thornthwaite iklim sınıflandırması				
	Harf kodları	1.harf ve açıklaması	2.harf ve açıklaması	3.harf ve açıklaması	4.harf ve açıklaması
Iğdır	D,B'2,d,b'2	D: Yarı kurak	B'2: Mezotermal	d:Su fazlası olmayan veya pek az olan	b'2:Kara tesirine yakın iklim

Aydeniz metodu ile Türkiye'nin uzun yıllık verileri kullanılarak yapılan sınıflandırmada Konya, Karaman, Şanlıurfa ve Iğdır çok kurak, İç Anadolu, Göller Yöresi, Güneydoğu Anadolu ve Van kurak, Ege Bölgesi ve Akdeniz'in kuzeyi yarı kurak, Karadeniz, Marmara ve Akdeniz kıyıları ise nemlidir [60].



Şekil 2-4 Aydeniz'e göre Türkiye İklimi [61]

Iğdır İli, çevresindeki yüksek alanlardan tamamen farklı bir iklime sahiptir. Iğdır Ovası ve çevresinde Akdeniz iklimine yakın karasal iklim hüküm sürmektedir. Bu farklılıkların sebebi, sıcaklığın yüksek ve yağış rejiminin düşük oluşudur. Yarı kurak bir iklime sahip olan Iğdır İli, Doğu Anadolu ölçüsünde kendine özgü iklim koşullarıyla bir yöresel klima alanı oluşturmaktadır. Aralık, Ocak ve Şubat aylarının sıcaklık ortalamasının çok düşük olmaması nedeniyle kış mevsimi fazla soğuk geçmemektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimi sıcaklık ortalaması 10°C'nin, yaz mevsimi ise 24°C'nin üzerine çıkmaktadır. Don olayları kış mevsiminde ağırlıklı olarak Aralık, Ocak ve Şubat aylarında görülür. Nisan ve Ekim aylarında don olayına seyrek rastlanır. Kış gününü ifade eden şiddetli soğuklar ise en fazla Ocak ayında görülmektedir. Iğdır'da rüzgarın en fazla görüldüğü sektör batı sektörüdür. Bunları kuzeyden esenler takip etmekte ve en seyrek olarak da doğu sektörlü rüzgarlar görülmektedir (Şekil 2-5).



Şekil 2-5 Iğdır rüzgar diyagramı ve hakim rüzgar yönü

Uzun yıllar MGM kayıtlarında Iğdır'da ölçülmüş uç değerler, iklimsel olarak en fazla hangi riskleri göğüslememiz gerektiğini göstermesi açısından önem arz etmektedir. Hazırlanacak tüm alt yapı projeleri gibi FV güneş elektrik projelerinin de bu uç değerler dikkate alınarak tasarlanması ve büyüklükleri bu tabloya göre belirlenmelidir (Tablo 2-6).

Tablo 2-6 Kaydedilen uç ve ortalama değerler (veri aralığı 1940-2013)

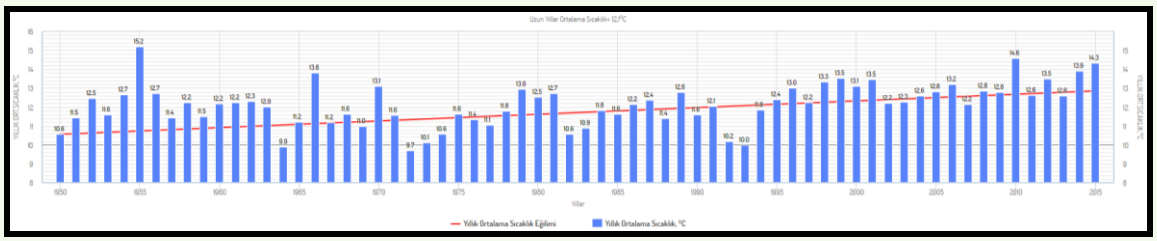
Değişken	Ölçüm	Tarih
En yüksek sıcaklık, °C	41,5	12.08.2003
En düşük sıcaklık, °C	-30,3	29.12.1953
En çok yağış, kg/m²	41,6	13.10.1948
En hızlı rüzgar, km/saat	111,6	22.03.2008
En yüksek kar, cm	38	19.02.1972
Uzun yıllar ortalama sıcaklığı, °C	12,0	
Ortalama nispi nemi, %	59,4	
Ortalama güneşlenme süresi, saat	6,3	
Ortalama rüzgar hızı, m/s	1,2	
Ortalama yıllık toplam yağışı, mm	252,7	

2.2.2. Basınç

Meteorolojik hadiselerin en önemli belirleyicisi ve habercisi olarak görülen hava basıncı bulunulan noktanın denizden yüksekliğine dolayısıyla üzerindeki atmosfer katmanın kalınlığına bağlı olarak değişim gösterir. Iğdır için 1970-2010 tarihleri arasında 10'ar yıllık dönemlerle çalışılmış basınç grafiğinde yaz aylarında, 910 mB'lar; kış aylarında, 920 mB'lar, baskın ve düzenli olarak dağılım göstermektedirler. Uzun yıllar seyrinde basınç dağılımında belirgin bir değişikliğe rastlanılmamaktadır (Şekil 2-7). Bu periyotta kaydedilmiş en yüksek basınç değeri 14 Ocak 2009 saat 10'da 941,2 mB, en düşük ise 892,4 mB ile 22 Şubat 1973 tarihindedir. Iğdır için ortalama basınç değeri 40 yıl boyunca 917,5 mB civarında kalmıştır.

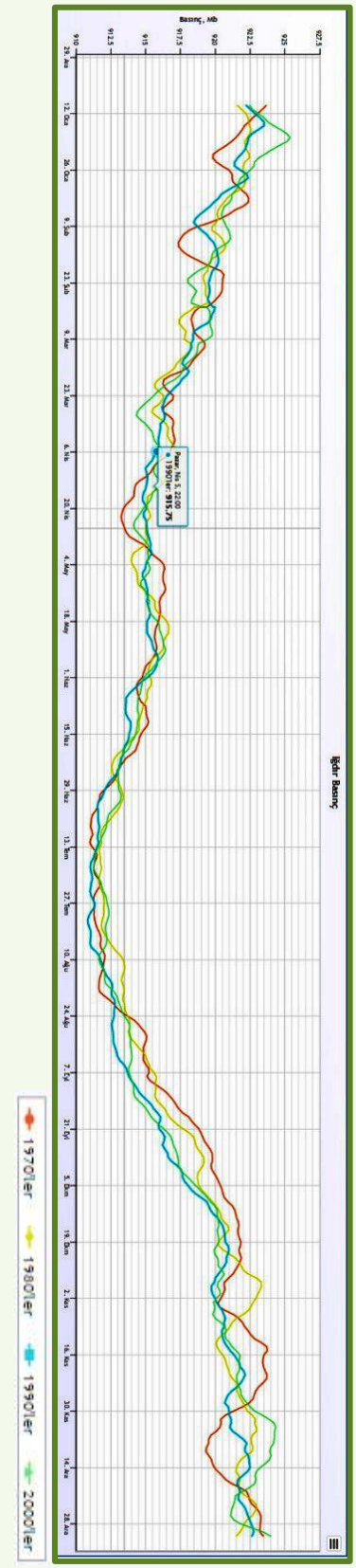
2.2.3. Sıcaklık

Sıcaklık güneşten gelen radyasyonun süresi ve açısına bağlı olarak taşınan ısı enerjisinin bir yansımasıdır. Bu süre ve açı iklim diye tarif ettiğimiz dünyanın eğik ekseniyle güneş etrafında dönmesi olayına paralel olarak artar veya azalır. 1954 - 2013 yılları arası kalite kontrolden geçirilmiş verilere dayanılarak hazırlanan sıcaklık dağılım ve eğilim grafiği son 60 yılda 11,6 °C'den 12,6 °C'ye düzenli bir yükseliş olduğunu göstermektedir (Şekil 2-6). Bu da iklim değişikliğine sebep olan küresel ısınmanın tüm dünyada gösterdiği sıcaklık artışına paralellik gösterdiği rahatlıkla bağlanabilir.



Şekil 2-6 Iğdır aylık ortalama sıcaklık değerlerinin yıllık ortalaması dağılımı ve eğilimi (MGM)

Mevsimsel olarak bakıldığında, 1970'ten itibaren, Iğdır için kışın – 3 °C'lere kadar düşen sıcaklık yaz aylarında 25 °C ortalamalarına kadar yükselir. Yıl içerisinde 30 °C kadar bir salınım gösterdiği söylenebilir. Bu grafiğin ortalama sıcaklıkları gösterdiğine dikkat edilmelidir. Uç değerlerin bu grafikte gösterimi yoktur. En sıcak gün 41,5 °C ile 12 Ağustos 2003, en soğuk gün ise -30,3 ile 1953 ve -30,0 °C ile 28 Aralık 2002'dir. Iğdır ortalama sıcaklığının son 10 yılda geçmiş 40 yıla oranla düzenli olarak yükseldiği görülebilmektedir (Şekil 2-8). 1970'li yıllarda 11,4 °C olan ortalama sıcaklık, 80'lerde 11,9'a, 90'larda 12,1'e ve 2000'lerde 12,6'ya çıkmıştır. Toplamda 40 yıllık döneme 1,2 °C'lik gerçekleşen ortalama sıcaklık değişimi dikkatle takip edilesi bir durumdur!



Şekil 2-7 Iğdır'ın yıl içerisinde ve son 10'ar yıllık periyotlarda basınç değişimi

Şekil 2-8 Iğdır'ın 1970'ler ile 2000'ler arası sıcaklık değişimi

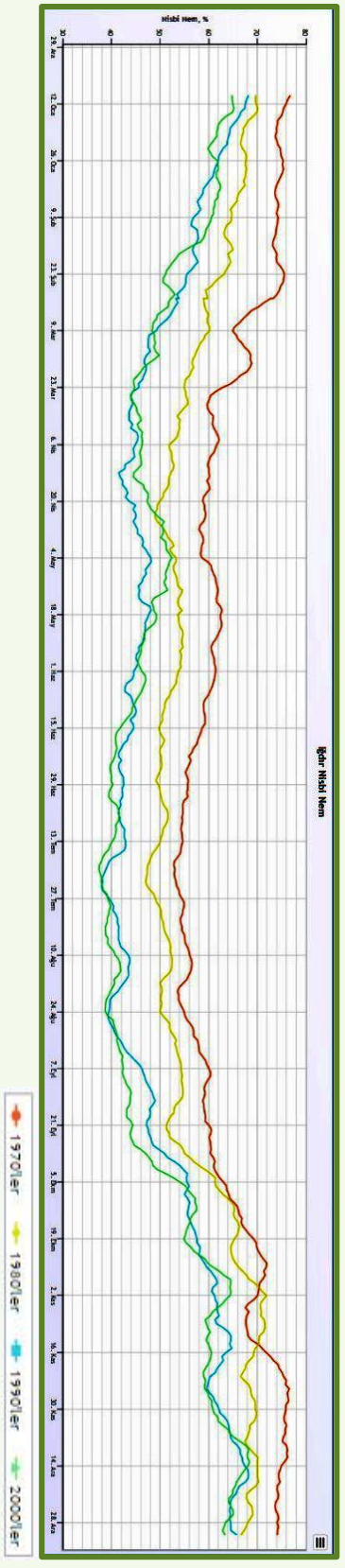
2.2.4. Nispi nem

Nispi nem, havadaki nem miktarının o havanın alabileceği maksimum neme olan oranıdır. Yüzde ile ifade edilir ve sıcaklık ile ters orantılıdır. Aynı miktardaki havada sıcaklık yükseldikçe nem taşıma kapasitesi artmasına rağmen, nispi nem düşer. Iğdır'da yaz aylarında % 40'lara kadar düşen nispi nem kış aylarıyla birlikte % 60'lar üzerine çıkmaktadır. Nitekim uzun yıllar grafiksel incelemelerde de izlenebileceği gibi Iğdır için son 40 yılda sıcaklık artışına paralel olarak nispi nem düzenli olarak azalmıştır. 1970'lerde % 65 civarında olan yıllık ortalama nispi nem, 1980'lerde düşüşüne devam etmiş % 58'e gerilemiş, 1990-2009 arası da yine düşüş göstererek % 51'e kadar gelmiştir (Şekil 2-9). FV panellerin üzerine güneşten gelen ışınlar atmosferi geçerken en fazla su buharı yani havanın nemi tarafından emilir, sıçratılır ve/veya yansıtılır. Nemin düşük olması veya düzenli olarak azalıyor olması atmosfer geçirgenliğinin (AM) artması, dolayısıyla güneşlenme süresi ve küresel güneş ışıması değerlerinin artması anlamına gelir. Bu değişkenlerdeki artış ise doğrudan FV sistem performansını büyütür. Iğdır her geçen gün aynı kurulu güçten daha fazla elektrik üretme kapasitesine sahip olacaktır.

2.2.5. Toprak üstü minimum sıcaklık

Toprak üstü minimum sıcaklığı her gün sabah saatlerinde, yerden 5 cm yüksekte yerleştirilmiş sıcaklık ölçerler (termometre) vasıtasıyla ölçülür. Yere ulaşan ve yerden yansıyan radyasyona maruz kalan sıcaklık ölçer hava sıcaklık ölçümünden farklı olarak özellikle gece radyasyonun uzaya kaçabilme durumu hakkında bilgi sağlar. Son 40 yılda hava sıcaklığında tespit edilen düzenli yükseliş, toprak üstü minimum sıcaklığında da belirgin bir şekilde ölçülmüştür (Şekil 2-10). Bu dönemin (1970-2009) kaydedilen en yüksek sıcaklığı 10 Ağustos 2006'da 25,2 °C, en düşük sıcaklığı ise 28 Aralık 2002'de, minimum hava sıcaklığı rekoruyla aynı tarihte, -35,2 °C'dir.

Şekil 2-10 Iğdır'ın yıl içerisinde ve son 40 yılda toprak üstü minimum sıcaklık değişimi



Şekil 2-9 Iğdır'ın yıl içerisinde ve son 10'ar yıllık periyotlarda nem değişimi

2.2.6. Rüzgar

Rüzgar değişkeni temel olarak atmosferde dünyanın dönüşünden ve yerkürenin farklı derecelerde ısınmasından kaynaklı olarak oluşur, gelişir ve farklılaşır. Büyük hava kütlelerinin hareketine paralel gelişen yatay ve dikey rüzgarların yanı sıra yerel etkenler de rüzgarı oluşturup, yönünü değiştirip, şiddetini azaltıp arttırabilirler. Iğdır için genel itibariyle rüzgarın yaz aylarında daha etkili estiği söylenebilir. Kış aylarında ise rüzgar sakinleşmektedir. Bu da çevre ve sağlık sorunu olan hava kirliliğinin Iğdır şehir merkezinde daha etkili ve uzun süre kalmasını kolaylaştıran bir unsurdur (Bkz.B:2.1.6). 1970'lerde 1,5 m/s hızla esen rüzgar, 1980'lerde 1,2 m/s'ye düşmüş, 1990'larda ortalama olarak 1,1 m/s'ye kadar geriledikten sonra 2000'lerde hızını tekrar 1,5 m/s'ye yükseltmiştir. Böylece rüzgar hızının düzenli ve sürekli bir azalış göstermediği, son 20 yılda artış eğiliminde olduğu da tespit edilmiştir (Şekil 2-11). Bu periyotta kayıt edilmiş en yüksek rüzgar hızı da 12,9 m/s'dir.

IMM rasat parkından alınan rüzgar ölçümlerinde ağırlıklı rüzgar yönünün batılı yönleri olduğu görülmektedir. Doğulu yönler ise rüzgarın esme sayısının en az olduğu yönlerdir. Tam kuzey için de esme sayısının oldukça az olduğu rüzgar diyagramında görülse de, yapılan yerleşim analizinde rasat parkının hemen kuzeyinde bulunan binadan kaynaklı, kuzey menşeili rüzgarların sağlıklı ölçülmesinde sıkıntılar olduğu rahatlıkla söylenebilir. Daha detaylı araştırmaya ihtiyaç duymakla birlikte kuzeyli esen rüzgarların söz konusu bina nedeniyle ölçüm noktasına kuzey batı yönünden ulaşabildiği, dolayısıyla kuzeybatılı esme sayılarında yapay bir artış olduğundan bahsedilebilir. Nitekim Iğdır için hakim rüzgar yönünün Batı-Kuzeybatı (WNW) olduğu görülmektedir (Şekil 2-5). FV paneller güneş ışınlarından aldıkları enerjinin bir kısmı ile elektrik üretirken önemli bir kısmı ile de ısı enerjisi açığa çıkar. Bu da FV panellerin düşük verimle çalışması anlamına gelir. FV panel ısısı bu yolla arttıkça üretilen elektrik de azalır. Bu sebeple FV panellerin olabildiğince serinletilmesi istenir. Rüzgar bu amaca hizmet eden en önemli doğal etkendir. Rüzgar hızının süreklilik arz edecek şekilde esmesi, FV panellerin daha yüksek verimle çalışmasına olanak tanır.

2.2.7. Bulut kapalılığı

Bulut kapalılığı iklimsel gözlem yapılarak uzman rasatçılar aracılığıyla tespit edilebilen bir parametredir. Klimatolojide gökyüzü 10 parça kabul edilerek, kaç parçasının bulutlar ile kaplandığı çıplak gözle belirlenir. Bulutlar gece yerküreden uzaya yayılan radyasyonu tutuyor olsa da gündüz güneşten gelen radyasyonu geri yansıtma, emme, yayma, sıçratma gibi işlevleri de yerine getirirler. Dolayısıyla güneşlenme süresi ve buna bağlı küresel güneş ışıma (KGI) şiddetinin doğrudan etkileyicisi bir değişkendir. Iğdır için 1970'lerden 2000'li yıllara geçişte hemen her mevsim için bulutluluğun azalış göstermesi hem sıcaklık ortalamasındaki artışı, hem de nemdeki azalmayı açıklar niteliktedir (Şekil 2-12). Ortalama değerler incelendiğinde bulut kapalılığının 40 yılda 4,7/10 oranından 4,2/10'a azalış gösterdiği sayısal ifadeyle de desteklenmektedir. Bu azalış eğiliminin bu şekilde sürmesi halinde Iğdır'ın FV kapasitesinin artacağından bahsedilebilir. Elbette burada tek kriter kapalılık oranı değildir.

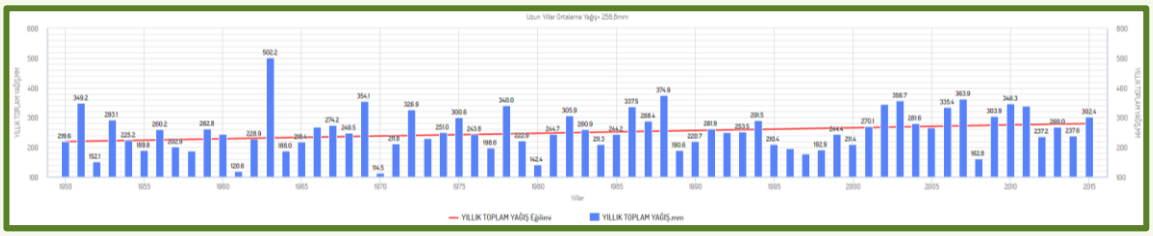
Alçak, Orta ve Yüksek bulutlar ve bunların türleri farklı yoğunluk ve kalınlıklarda olduklarından güneş ışınlarına etkimeleri de farklı olacaktır. Stratüs tipi alçak bulutlar güneş ışığını hemen hiç geçirmezken, Sirrüs cinsi yüksek bulutlar büyük oranda geçirgenlik sağlayabilirler. Kümülüs cinsi orta bulutlar da gökyüzünü parçalı kapladıklarından kenarlarındaki ışık hüzmeleri sayesinden FV panellere beklenenden daha fazla güneş ışını ulaşmasına aracılık edebilirler.

Şekil 2-12 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1970'ler ile 2000'ler arasında bulut kapalılığı değişimi

Şekil 2-11 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1990'lar ile 2000'ler arasında rüzgar hızı değişimi

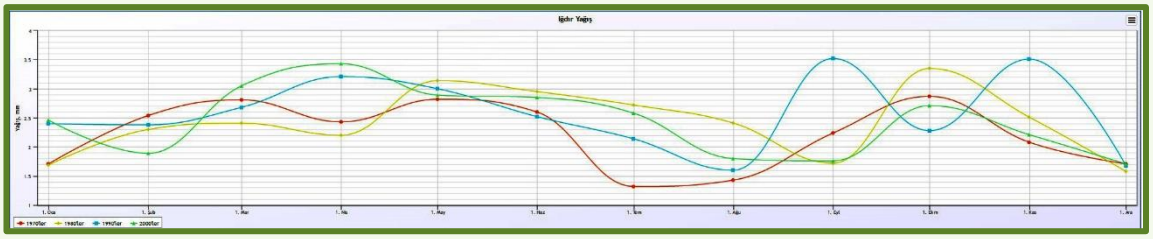
2.2.8. Yağış

Uzun yıllar yağış toplamlarındaki dağılım ve eğilim analiz edildiğinde, yıllık yağış toplamlarının tutarlı bir seyirden ziyade dalgalı bir görünüm izlediği görülecektir. Burada memnun edici olan düzenli sıcaklık artışına karşılık yağış miktarında yıllık kayıtların peyder pey artış göstermesidir. Sıcaklık ile buharlaşmanın da arttığı düşünülürse tespit edilen bu yağış artışı açığı kapatmaya ancak yetecektir (Şekil 2-13).



Şekil 2-13 Iğdır yıllık toplam yağış verilerinin dağılımı ve eğilimi (MGM)

Son 40 yılda nispi nemin ve bulutluluğun azaldığı, sıcaklığın net bir şekilde arttığının tespit edildiği bu analizlerde yağışın da azalması beklenebilir. Ancak ortalama yağış kayıtları yine 10'ar yıllık periyotlarda incelendiğinde 1970'ten 2000'lere sırasıyla 244; 260; 230 ve 290 mm/yıl toplam yağış ölçülmüştür. 40 yıllık ortalamanın 256 mm/yıl olduğu düşünüldüğünde yağış miktarında bir artış olduğu söylenebilir (Şekil 2-14). En yüksek yağış kaydı ise bir günde 41,6 mm ile 1948 ve 35,7 mm ile 1970'de gerçekleşmiştir. 90'lar ve 2000'lerde kaydedilen en yüksek yağış 27,8 mm ile 2006 senesindedir. İklim değişikliği sürecinde beklenen risklerin aksine yağış rejiminde, çok genel bir yaklaşımla, olumluya gidiş olduğundan bahsedilebilir.



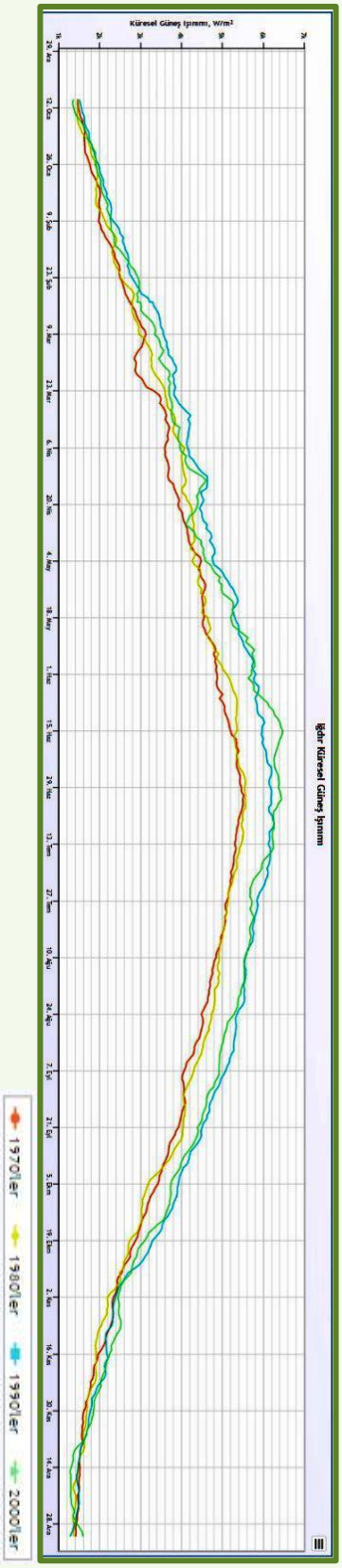
Şekil 2-14 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1970'ler ile 2000'ler arasında yağış değişimi

2.2.9. Güneşlenme süresi

Güneşlenme süresi ölçümü atmosfer kalınlığı, havanın kapalılığı, geçirgenliği veya bulutluluğu ile doğrudan ilişkilidir. Yağışın, nemin çok olduğu yerlerde güneşlenme süresi kısa olur. Iğdır bu anlamda Türkiye'de en az yağış (256 mm/yıl) alan bölgelerden birisi olduğu için, bulutluluğun az güneşlenme süresinin uzun olduğu bir ildir. Son yıllarda bulut kapalılığındaki azalışa paralel olarak güneşlenme süresinde de özellikle ilkbahar ve yaz aylarında FV güneş elektrik potansiyelini olumlu yönde etkileyecek bir artış söz konusudur. 1980'lerde 6,3 saat/gün olan güneşlenme süresinin 2000'li yıllarda 6,7 saat/gün'e çıkması ve maksimum güneşlenme süresi kaydının 13,7 saat ile 2004 yılında Mayıs ve Haziran aylarında 3 kez ölçülmüş olması da bu seyri desteklemektedir (Şekil 2-15).

2.2.10. Küresel güneş ışıması

Tüm iklimsel parametreler desteklemektedir ki Iğdır'ın küresel güneş ışıması ölçümlerinde, son 40 yılda, özellikle ilkbahar ve yaz aylarında belirgin bir artış olmuştur. Yapılaşmanın ve bitki örtüsündeki gelişimin şehir merkezlerinde kalan meteoroloji istasyonları için güneşlenmeyi azaltıcı birer unsur olduğu ve gün geçtikçe etkisini artırdığı da göz önüne alındığında bu yükseliş kayda değerdir. Seyrin küresel ısınma ve iklim değişikliğindeki gidişata paralel olarak bu yönde değişmeye devam edeceği rahatlıkla söylenebilir. Önümüzdeki yıllarda çok daha az bulut, çok daha fazla güneş göreceğimiz aşikardır (Şekil 2-16). Sayısal olarak ifade edersek 70'lerde 3,42 W/m^2-gün olan küresel güneş ışıması, 80'lerde 3,48 W/m^2-gün'e, 90'lar ve 2000'lerde 3,9 W/m^2-gün'e doğru düzenli bir yükseliş eğilimindedir. En yüksek değer araştırmasında da W/m^2-gün cinsinden 70'lerden 2000'lere sırasıyla 6,8; 7,4; 7,8 ve 8,2 gibi artış trendi kaydedilmiştir.



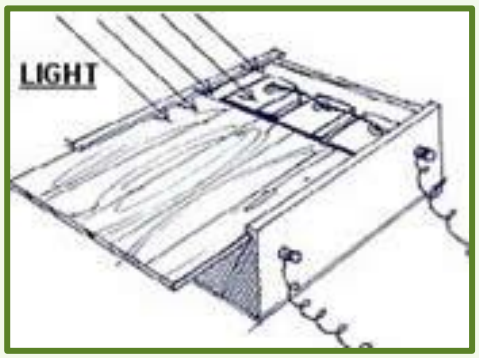
Şekil 2-16 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1970'den 2010'a küresel güneş ışıması değişimi

Şekil 2-15 Iğdır'ın yıl içerisinde ve 1980'ler ile 2000'ler arasında güneşlenme süresi değişimi

3. FV GÜNEŞ ELEKTRİĞİ TEKNOLOJİSİ

3.1. Tarihçe

FV yöntemle ışıktan elektrik üretme keşfi neredeyse 200 yıl öncesine dayanır. 1839'da Paris Doğal Tarih Müzesinde uygulamalı fizik profesörü Alexander Edmond Becquerel platin tabakalar üzerinde yaptığı bilimsel çalışmalar sırasında ilk fotovoltaik etkiyi saptar. Becquerel'in yaptığı çalışmaların ışığında 1873'te Willoughby Smith ilk basit güneş pilini üretmeyi başarır (Şekil 3-1). Televizyonun icadıyla daha çok ismini duyurmuş olan Willoughby Smith'in çalışmalarını 1877'de W.G. Adams ve R.E. Day sürdürür. Bu ikilinin yaptığı çalışmalarda katı maddelerin de fotovoltaik etki oluşturabildiği kanıtlanmış olur. 1883'te Charles Fritts selenyum kullanarak ilk ciddi güneş pilini üretir. Bu pilin verimi ancak yüzde 1 dolaylarındadır.



Şekil 3-1 Becquerel'in ilk basit FV pili, 1873

1887'de Heinrich Rudolf Hertz morötesi ışınının fotovoltaik etki üzerinde yansımalarını araştırır. 1904 yılında Albert Einstein güneş etkisiyle elektrik akımı oluşumuna yönelik bir makale yayınlar. Aynı yıl Wilhelm Hallwachs bakır ve bakır oksit bazlı bir güneş pili denemesinde bulunur. Audobert ve Stora 1932 yılında Cadmium-Selenide (CdSe) kullanarak uzun bir süre kullanılacak olan fotovoltaik bir yöntem keşfetmiş olur. 1954'de Pearson ve Fuller Silisyum (silikon)'un fotovoltaik etkisini keşfeder. Böylece % 5 verimli bir FV güneş pili üretmeyi başarır. 1957 yılına gelindiğinde Pearson ve arkadaşlarının çalışmaları meyvelerini verir ve güneş pilindeki verim % 8'lere kadar ulaşır.

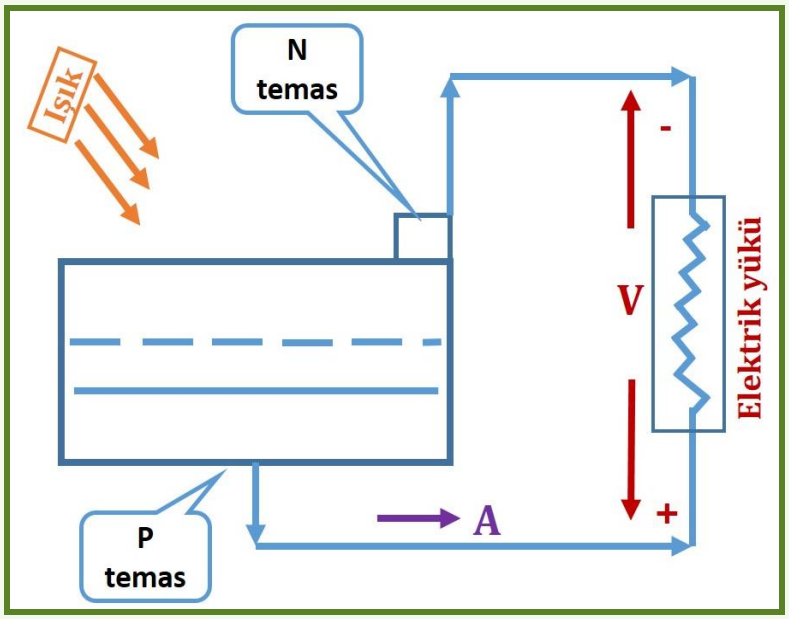
1958'de Vanguard I isimli uzay aracında ilk defa bir FV güneş pili kullanılır. Bu güneş pili % 9 verimle çalışıyordu ve 100 cm^2'de 0,1 W güç üretiyordu. 1961'de Birleşmiş Milletler Solar Enerji Konferansı düzenlendi. 1967 yılında FV güneş pilleri Soyuz I uydusuna enerji sağlamak

için kullanıldı. 1980'de Delaware Üniversitesi'nde % 10 verim elde edebilen Cu_2S/CdSe teknolojileri geliştirildi. Dünyadaki toplam FV güneş pili kurulu gücü 1999 yılında 1000 MW seviyesine ulaştı.

3.2. İlke

Tabiatta bilinen en eski güneş enerjisi dönüştürücüsü bitki yapraklarıdır. Yapraklar güneş ışınlarını fotosentez amaçlı kullanırlar. FV yöntem ise güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletkenlerdir. Güneş enerjisinin taşıyıcıları ve yayıcıları olan tanecikli fotonlar, fotovoltaik malzeme üzerine düşünce elektrik enerjisine dönüşürler.

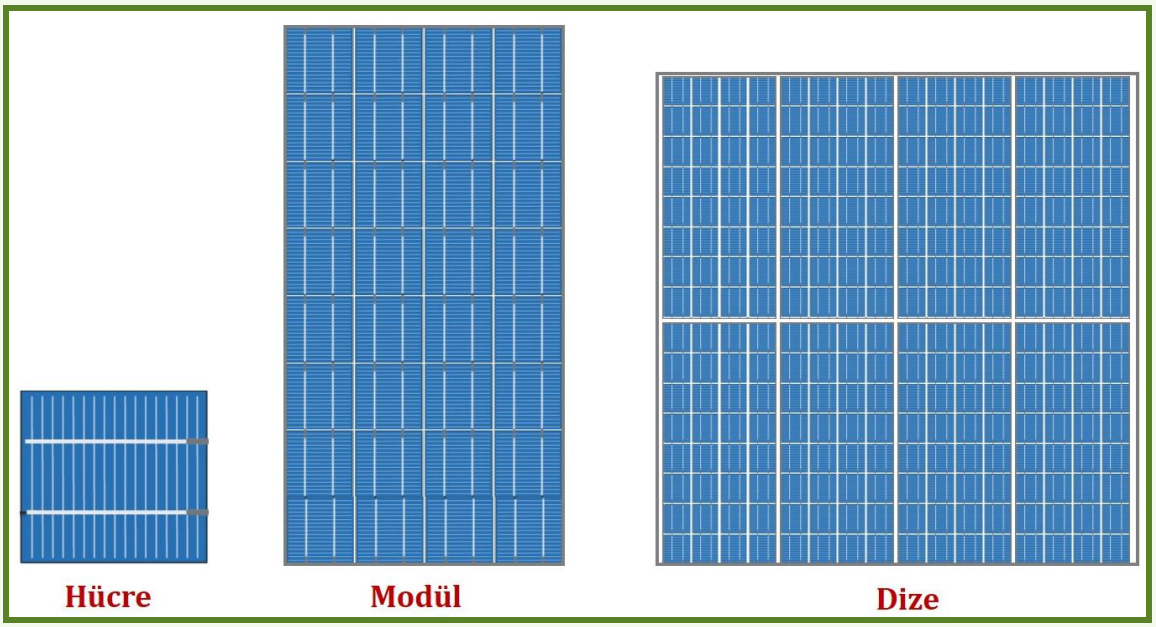
"**Gün elektrik", "güneş elektriği", "fotovoltaik", "FV"** ve **"FV güneş elektriği**" birbirlerinin yerine ve diğerlerine gönderme yapılmaksızın kullanılabilmektedir. Fotovoltaik Yunanca ışık veya ışın anlamına gelen "photo" ve gerilimin birimi olan "volt" kelimelerinden türetilmiştir. Fotovoltaik güç teknolojisi birkaç santimetrekare büyüklüğündeki yarı iletken hücreler (dilim - wafer) kullanır. Her bir hücre yaklaşık 1 W gücündedir. FV hücre iki katmanlı silisyum yapıdan oluşur. P (pozitif) tipi taban üzerinde ince bir N (negatif) tipi malzeme bulunmaktadır. Işık bu iki malzemenin temas noktasına düştüğünde P tipi malzemenin N tipine göre daha pozitif olduğu 0,6 Volt'luk bir gerilim meydana gelir. Hücrenin temel anlamda üst yüzeye yakın pozisyonda yerleştirilmiş geniş yüzey alanlı bir p-n diyotu olduğu söylenebilir. Güneş ışını yarıiletken FV hücre üzerine düştüğünde ışının enerjisi madde atomlarının en dış yörüngesindeki elektronları harekete geçirir. İletkenler üzerindeki elektrik akımı, atomların bu gevşek elektronlarının hareketi sayesinde oluşur. Güneş ışığı bu maddeler tarafından emildiğinde elektronlar atomlarından ayrılarak madde içerisinde serbest kalırlar. Serbest kalan elektronlar bağlantı bölgesinde potansiyel bir fark yaratıp, elektrik alanı altında hızlandırılırlar ve harici bir devreye doğru akım (DA) olarak gönderilirler. Işığın bu şekilde elektriğe dönüşmesine fotovoltaik etki adı verilir (Şekil 3-2). Fotovoltaik etki sonucunda ortaya çıkan bu güç doğrultularak elektriğe dönüştürülür. Fotonların elektriğe dönüştürülemeyen gücü hücrenin sıcaklığı için ısı enerjisi açığa çıkarır. Bu bilgi ışığında FV hücrenin aşırı ısınması enerji dönüşüm veriminde kayıp olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir [5].



Şekil 3-2 Fotovoltaik etki [62]

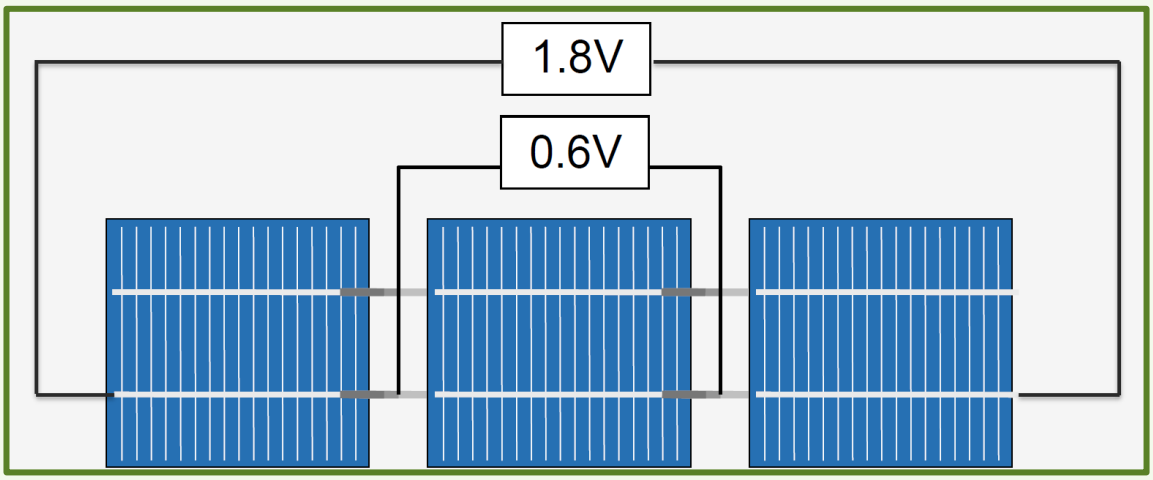
FV hücreler yarı iletken teknolojisi ile üretilmiş genellikle silisyum (Si) temelli statik sistemlerdir. Si yanında galyum arsenit (GaAs), bakır indiyum diselenit (CIS) ve kadmiyum tellür (CdTe) bileşikleri gibi belli bazı yarıiletkenler ve elementlerden de üretilmektedirler. Piyasa şartlarında yaygın olarak kullanılan tüm FV'lerin % 90 kadarı silisyum üretimidir. Silisyum tabiatta asla serbest halde bulunmamasına karşın oksijenden sonra gezegenimizde en bol bulunan elementtir. Toprak, kum gibi malzemeler silisyum bileşiklerinden ibarettir.

Birden fazla hücrenin korunaklı bir yapı içerisinde seri ve paralel devreler olarak bağlanmasıyla ihtiyaç duyulan gücü üretebilecek modüller (panel) elde edilir. Modüllerin paralel ve seri bağlanmasıyla dizeler (array) oluşturulur (Şekil 3-3).



Şekil 3-3 Hücreler modülü, modüller dizeyi oluşturur [62]

FV hücre kalınlıkları 0,2-0,4 mm arasında değişmektedir. İlke olarak kalın olmasının performansa hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Dilimleme teknolojisine bağlı olarak farklı FV hücreler farklı kalınlıklarda olabilmektedirler. Çoğu FV hücre 0,1 m^2 yüzey alanda 5-10 W güç üretir. Tipik bir 2 kW FV sistem 18-37 m^2 serbest alana gereksinim duyar. Genel kabul olarak FV hücreler, 20-45 V'luk bir açık-devre gerilimini üretebilmesi ve 12 V'luk bir aküyü doldurabilmesi amacıyla genellikle her biri 0,5-0,6 V gerilim üretebilen (çalışma şartlarında toplam 15 V) seri bağlanmış 36 veya 72'lik seri diziler halinde gruplandırılırlar (Şekil 3-4). 1990'larda 35-75 W gücünde modüller üretilirken günümüzde 250-300 W gücündeki modüller daha yaygınlaşmıştır. Bir FV dizinin ağırlığı 15-20 kg/m^2 kadardır. Fotovoltaik sistemler en fazla silisyum ağırlıklı tek kristalli (mono-crystalline), çoklu kristal (poly-crystalline) ve son yıllarda amorf kristal ince film (thin film veya amorphous-crystalline) teknolojileriyle elektrik enerjisi üretmektedirler.

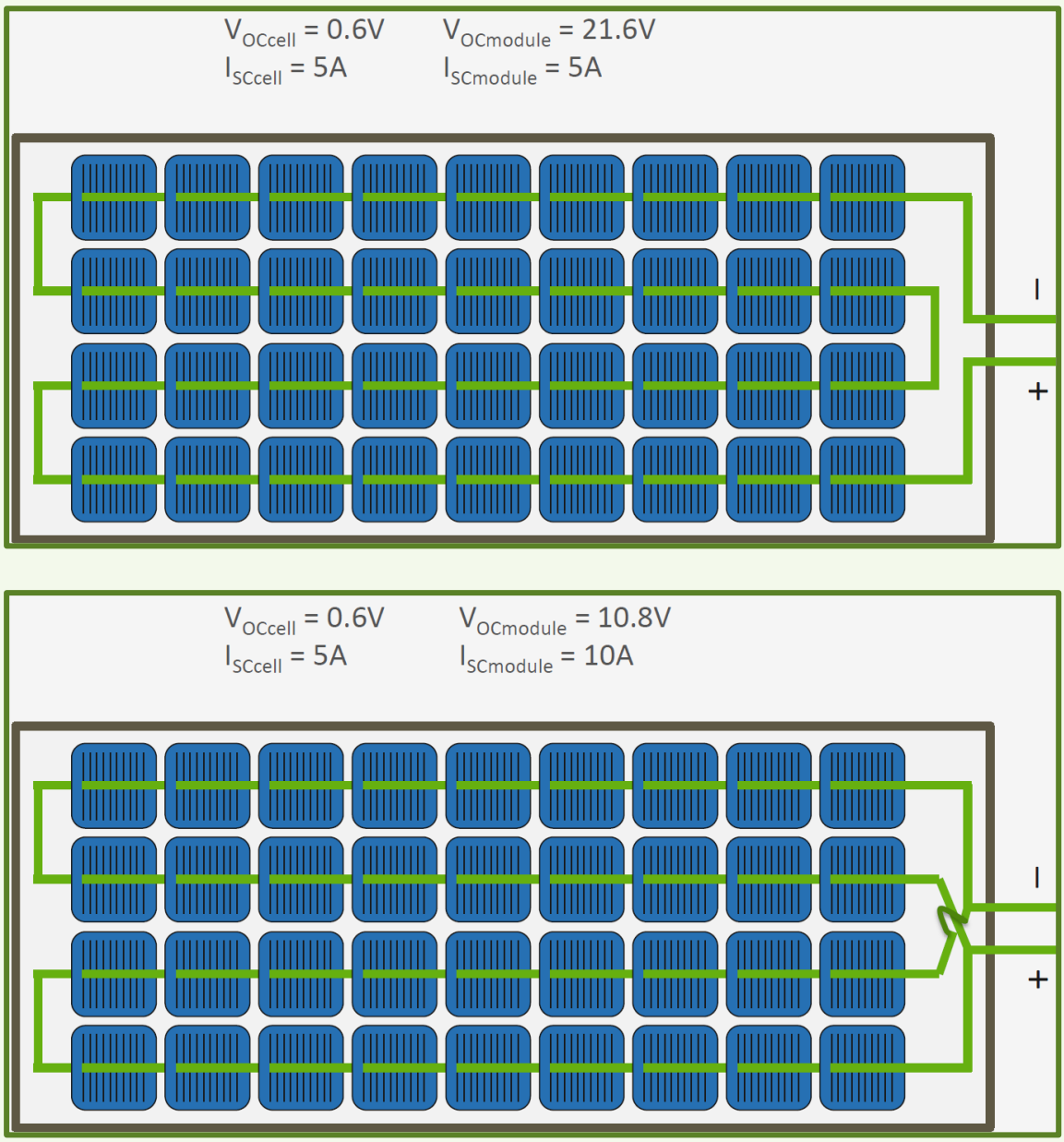


Şekil 3-4 FV hücrelerin seri bağlantısı

Tek kristalli yapıdaki hücreler mükemmel bir kristal yapıya, yüksek saflığa ve dolayısıyla en yüksek verime sahiptirler. Ancak bu hücrelerin oluşturulması için çok yüksek sıcaklık gerektiğinden maliyetleri de yüksek olmaktadır. Çok kristalli yapıdaki hücre dilimleri dökme metoduyla, eriyik haldeki silisyumun bir kalıba dökülmesiyle üretilirler. Dökme işi maliyeti düşürür ancak kristal yapıdaki mükemmellikten uzaklaşıldığı için verim de düşmektedir. Amorf silisyum ve ince film hücreler kolay çökme ve bağlanma, inşaat malzemelerine ve çerçevesine kolay yerleşme, kütle üretiminin kolay oluşu ve geniş uygulamalara yüksek uyumluluk gibi birçok avantaja sahiptirler. Ancak diğer kristal yapıdaki hücrelere göre verimlilikleri düşüktür [63].

Fotovoltaik hücrenin çıkış gücü, ışık yoğunluğu, hücre sıcaklığı, panel yerleşimi ve ebatıyla doğrudan ilintilidir. Işık yoğunluğu daha çok akım üretimini etkilerken, hücre sıcaklığı gerilim üretiminde öncelikle etkilidir. Hücre sıcaklığı arttıkça üretilen akım aynı kalmasına karşın gerilim üretimi düşer, dolayısıyla çıkış gücü azalır. Modül herhangi bir yüke bağlı olmadığında (akım vermediğinde) açık-devre gerilimi oluşur. Eğer modüller seri bağlanırsa, akülerde olduğu gibi, gerilimler toplanır ve istenilen gerilim seviyesine ulaşana kadar seri bağlanan

modül sayısı arttırılır. Eğer modüller paralel bağlanırsa, yine akülerde olduğu gibi, istenilen akım seviyesine erişilene kadar paralel bağlanan modül sayısı arttırılır (Şekil 3-5).

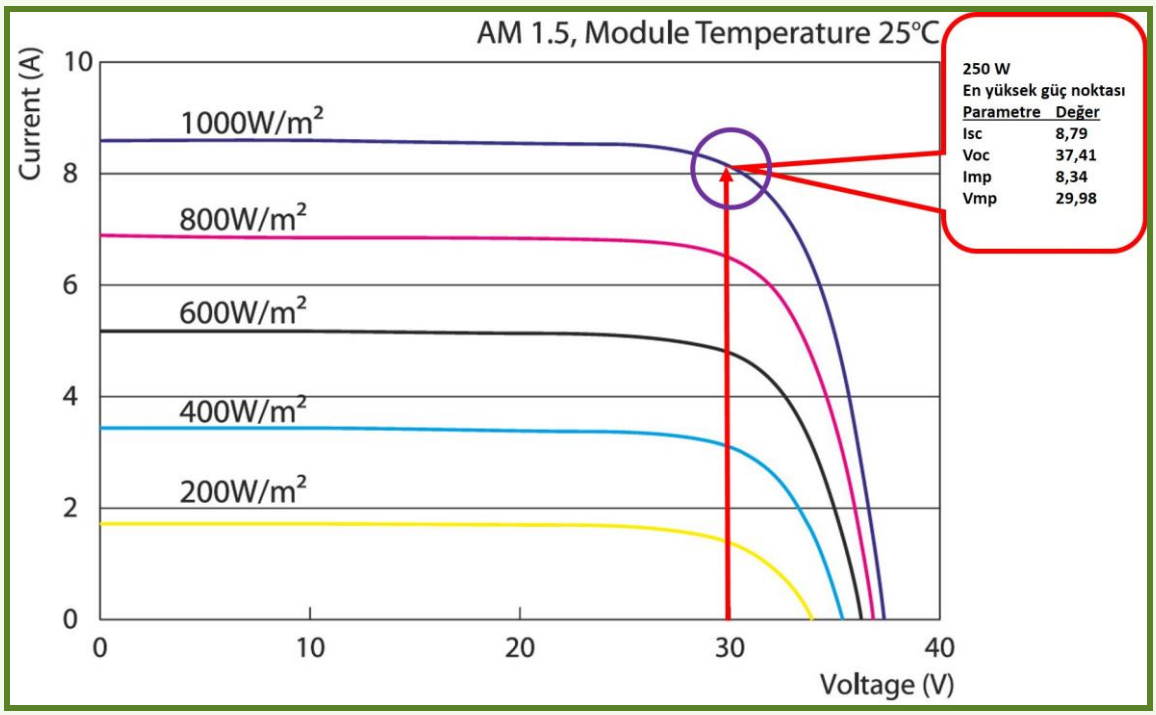


Şekil 3-5 FV modül hücrelerinin seri ve paralel bağlantı ile akım gerilim ayarlaması [64]

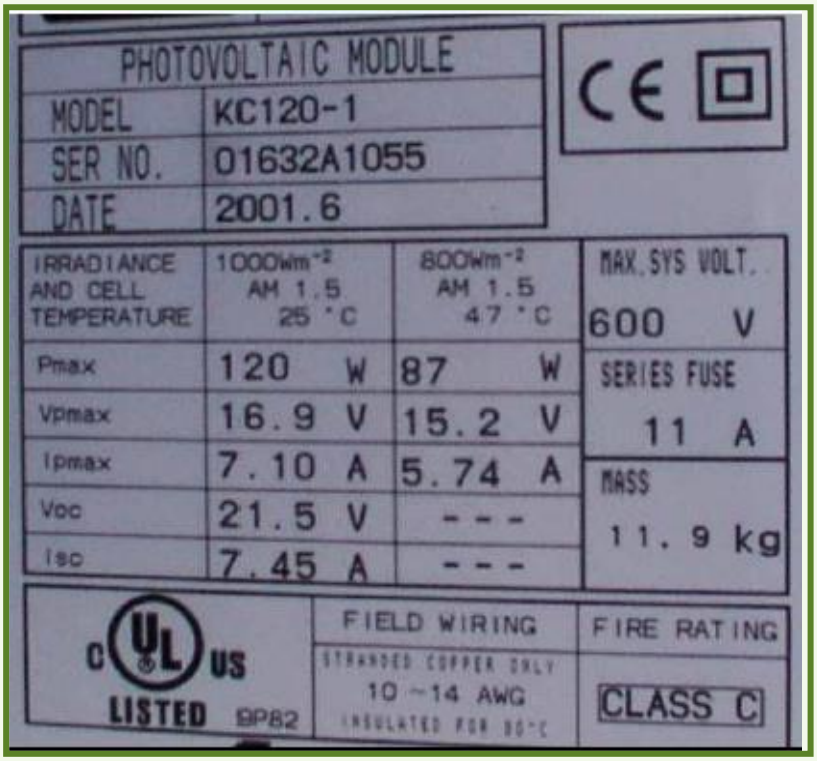
Bölgesel şartlar ve iklim değişkenleri FV elektrik üretimine doğrudan etki eden güneşlenme şiddetini açık şekilde etkilemektedir [65]. FV modüller, doğrudan güneş ışımasıyla beraber bulutların da ışınları yansıtmasıyla bulutlu bir günde, güneşli bir güne göre beklenen değerin üzerinde bir üretim yapabilirler [66]. Panel yönelimi (orientation), toplam ışıma, tayfsal ışıma, rüzgar hızı, hava sıcaklığı, topraklama ve sistemle ilgili diğer kayıplar FV sistem çıkış performansına etki eden unsurlardır. FV hücre sıcaklığı, modül doğrudan güneş ışığına maruz kaldığında ortam sıcaklığından 20-30 derece daha yüksek sıcaklıkta olabilir [67]. FV bir modülde akım ve gerilim modülün sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterir. FV modül çıkış gerilimi panel sıcaklığı düştükçe artarken, modül çıkış akımı ışıma ile doğru orantılı artar.

Kristal yapılı FV modüller sıcaklık arttıkça akım çok az artarken gerilim yaklaşık her bir derece için % 0.4 düşer. Dolayısıyla FV modüller en düşük sıcaklıkta en yüksek gerilim ve gücü üretirler.

Hücre elektrik performansını açıklarken kullanılan en önemli ve yaygın iki değişken açık devre gerilimi (open-circuit voltage, V_{oc}) ve kısa devre akımı (short circuit current, I_{sc})'dır. Akım-gerilim (I-V) grafiği de hücrenin elektriksel karakteristiğini gösterir (Şekil 3-6) [62]. İdeal bir güneş hücresinin kısa devre akımı ve açık devre gerilimi olabildiğince yüksek ve doluluk çarpanı (fill factor) olabildiğince 1'e yakın olmalıdır. FV panel verimi ise FV çıkış gücünün, FV panel alanının panel yüzeyine gelen toplam güneş ışımasıyla çarpımına oranıdır [67]. Bunun yanında FV paneller, birbirleriyle kıyaslanabilmeleri adına standart anma koşullarındaki en yüksek güç, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, en yüksek güç noktasındaki akım ve gerilim grafiği, normal işletim FV hücre sıcaklığı (NOCT) ve kısa devre akımı ile açık devre gerilimi için sıcaklık katsayılarından (Şekil 3-7) yararlanılır [63].



Şekil 3-6 Bir hücrenin örnek akım-gerilim grafiği



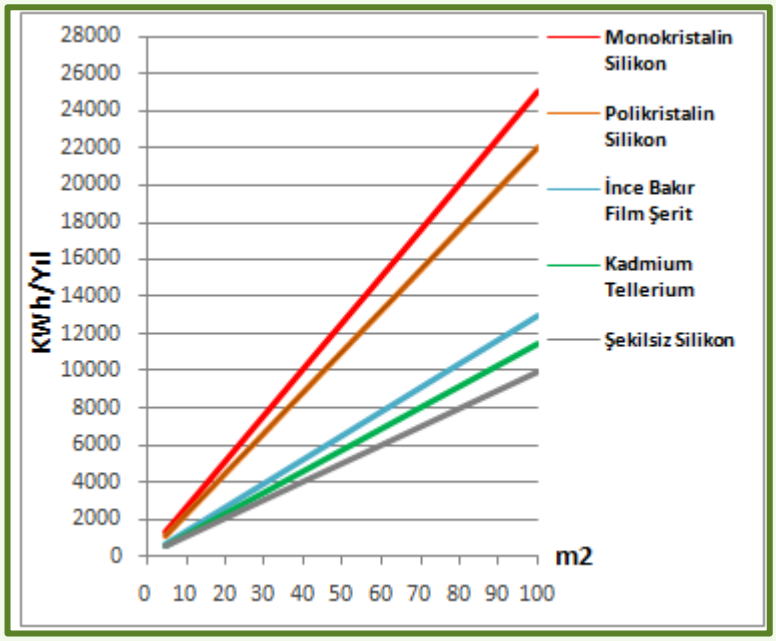
Şekil 3-7 Tipik bir FV modül etiketi

FV modül maliyeti evrensel kıyaslamalar yapılabilmesi açısından birim en yüksek güç (peak Watts) başına para birimi (TL) yani "TL/Wp" olarak ifade edilmektedir. En yüksek FV güç ise yeryüzünde deniz seviyesinde herhangi bir noktaya güneşin ışınlarının kesintisiz geldiği açık bir günde FV modülün elektrik enerjisi üretebilme gücünü ifade etmektedir. En yüksek FV güç, standart deney şartları (SDŞ) (standard test conditions, STC) olan 25 ˚C sıcaklık, 1000 W/m^2 ışıma ve 1.5 hava kütlesi (AM 1.5) şartlarında hesaplanır ve FV modüllerin kapasitesini anlatır. Hava kütlesi, atmosferdeki emilimin, yeryüzüne ulaşan güneş ışımasının yoğunluğu ve tayfsal içeriğine etkisinin ölçümüdür (Hava kütlesi = 1/cos θ (ışıma açısı)). Göreceli olarak optik hava kütlesi barometrik basınçla çarpılıp deniz seviyesi basıncına bölünmek suretiyle doğrulanır. Atmosfer dışında hava basıncı değerleri sıfır olduğundan, mutlak hava kütlesi sürekli sıfırdır. FV modül değerlendirmesi ve denemelerinde standart kabul edilen deney şartlarından biri olan hava kütlesi, Florida-Cape Canaveral'da güneş öğlesinde 21 Mart tarihinde yeryüzüne ulaşan güneş ışığının kat ettiği atmosfer miktarıdır ve AM 1.5 şeklinde ifade edilmektedir [68].

3.3. FV Türleri

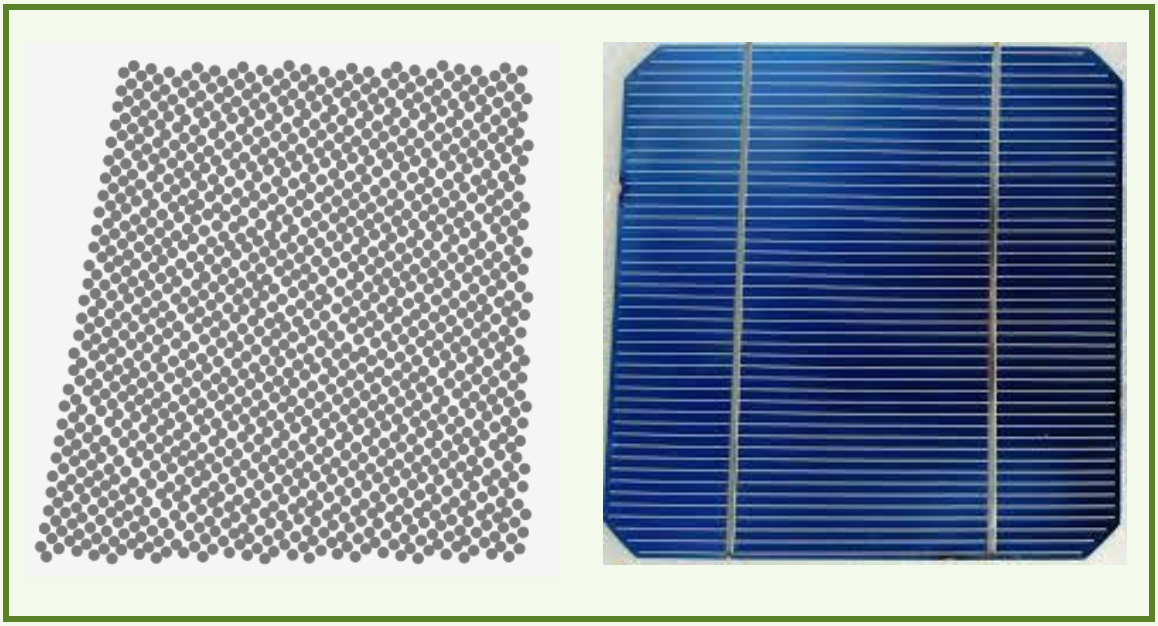
FV panellerin üretiminde hammadde ve üretim teknolojisi bakımından farklı yöntemler uygulanır. Bu farklılıklar üretim maliyetine, performansa ve tercih edilmeye doğrudan etki ederler. Yapısal olarak bir tasnif yapmak gerekirse en fazla silisyum ağırlıklı tek kristalli, çoklu kristal ve son yıllarda amorf kristal ince filmin piyasa koşullarında en yaygın kullanım alanı olduğu görülür. Ancak kırsal alanlar gibi, arazi kısıtının olmadığı sahalar için ince film FV modüller daha uygun olabilmektedirler [69]. Bir yarı iletken maddenin ışığa, ışımaya karşı

duyarlılık derecesi, o maddenin verimini ve panel performansını belirler (Şekil 3-8). Bu teknolojileri kısaca tanımak tasarım ve projelendirme aşamalarında kullanışlı olacaktır.



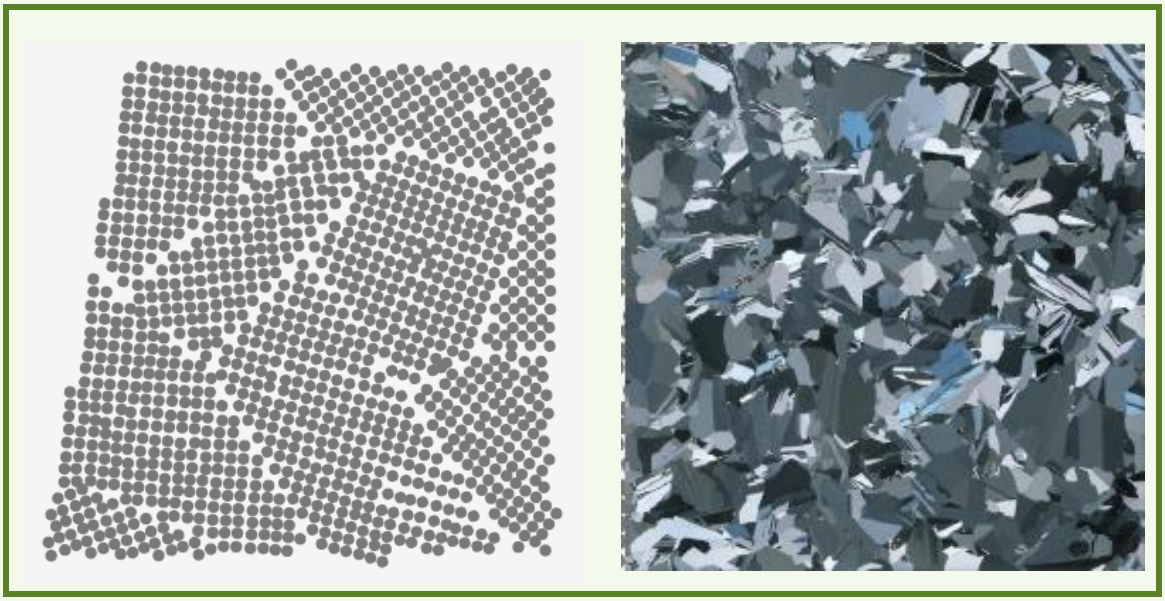
Şekil 3-8 FV yapıların birim alanda yıllık elektrik üretebilme kapasiteleri, GEPA [3]

Tek kristalli (mono-crystalline) FV panel: Siyah ve koyu mavi renktedir. % 20'lere ulaşan yüksek verime sahiptir. Laboratuvar koşullarında % 25,6 rekoru kırılmıştır. Uzun ömürlü fakat diğer türlere göre daha maliyetlidir. Son 10 yılda Wp başına harcanan malzeme miktarı, dilimlerin daha ince kesilebilmesi sayesinde 16 g'dan 6 g'a düşmüştür [70]. Kristal yapıları kusursuza yakın, bir örnek, düzgün dağılımlıdır (Şekil 3-9). Uluslararası standardı IEC 61215'dir.



Şekil 3-9 Tek kristalli FV yapı

Çoklu kristal (poly-crystalline) FV panel: Yüzeyleri mavi renktedir. Verimleri son yıllarda % 16'ya kadar yükselmiştir. Laboratuvar koşullarında % 20,8 rekoru kırılmıştır [70]. Verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğundan en çok tercih edilen FV panel olarak bilinirler. Kristal yapıları tek kristallilere göre karmaşık, kısmen düzgündür. Bu sebeple daha az voltaj taşıyabilirler ve verimlilik faktörleri düşük olur (Şekil 3-10). Uluslararası standardı tek kristalli FV ile aynıdır (IEC 61215).



Şekil 3-10 Çoklu kristal FV yapı

Amorf kristal ince film (thin film veya amorphous-crystalline) FV panel: Bükülgen özelliktedir. CIGS ve Kadmiyum tellür (CdTe) film gibi farklı hammaddelerden üretilmiş türleri vardır. Verimleri % 5-8 gibi oldukça düşüktür. Laboratuvar koşullarında CdTe % 21 CIGS % 20,5 rekoru kırılmıştır [70]. Ancak üretim maliyetlerinin düşük, zor çalışma koşullarına uyum kabiliyetlerinin de yüksek olduğu düşünüldüğünde, alan kısıtı olmayan ve bulutlu/gölgeli sahalar için tercih edilirler. Koyu kırmızı, koyu kahve veya füme renginde olurlar. Az malzeme tüketilerek üretimleri mümkündür. Parlak gün ışığından ziyade dağınık ışık ve sıcak iklimlerde daha verimli çalışabilirler. Uluslararası standardı IEC 61646'dır.

Bakır indiyum (CIS, Copper indium) FV panel: Güneş ışığının daha geniş bandını değerlendirme özelliğine sahip olduğundan kapalı ve bulutlu havalardaki performansı diğer türlere göre daha iyidir. Verimi % 5 civarındadır.

Galyum arsenit (GaAs) FV panel: Kızılötesi ışınlara aşırı duyarlı bir bileşik olan galyum arsenit yoğunlaştırılmış FV panellerde (CPV) verimi % 30'a kadar çıkarabilir.

FV panel seçerken dikkat edilmesi gerekenler:

- Hücreler üzerinde gözle görülür çatlak, kırılma, V şeklinde geniş çentikler olmamalı
- Hücre dizisinin yapısı düzenli, dizi bağlantıları düz ve renk tutarlılığı sağlanmış olmalı
- Çerçeve ile hücreler arasında birbirini takip eden veya kanal şeklinde kabarcık olmamalı

- Herhangi bir iletken yabancı madde bulunmamalı
- Barkod okunabilir ve anlaşılabilir olmalı
- Cam yüzeyinde de konkoid, kabarma, pusluluk vs olmamalı
- Arka yüzeyler çöküntü, kabarma, çizik, leke, pürüz olmamalı
- Çerçevede geometrik ölçüm ve birleşme hatası ile köşelerde çapak, pürüz; cam ile birleşme yerinde boşluk; arka yüzey ile birleşme boşluğu olmamalı
- Bağlantı kutusu tam yerleşmiş, boşluksuz, kırıksız, sızdırmaz olmalı
- Elektrot bağlantısı, kutuplama, bağlantılar arası mesafe standartlara uygun olmalı.

3.4. FV Sistem Bileşenleri

FV paneller DA gerilimi üretirken, FV sistemin tamamlanması için zemin hazırlama, mesnet yapısı, kurulum, dizi kablolaması, sigortalar, topraklama elemanları, devre kesiciler, kontrol birimi, eviriciler ve aküler ile mühendislik hizmetlerinden oluşan sistem bileşenlerine (BOS) ihtiyaç vardır. Asgari bir FV sistemde bulunması gereken donanım şu şekilde özetlenebilir:

Evirici (inverter): DA gerilimini AA (alternatif akım) gerilimine dönüştüren elektronik cihazdır. DA giriş tarafında dizeden gelen gücü gerilim ve akımı tarayarak maksimum seviyeye çıkarmak için tasarlanmış bileşen (MPPT) içerir, böylece verimi en yüksekte tutar. FV bir sistem için belirleyici unsur eviricinin tipi ve elektriksel büyüklük değerleridir. FV panellerin evirici elektriksel büyüklüklerine göre seri ve paralel bağlantı kombinasyonları ve sayıları belirlenir. Evirici tasarlanırken, yük talebinin en yüksek olabileceği durum esas alınarak evirici çıkış gücü belirlenir. Tasarımda öncelikle talep edilecek yükü karşılayabilecek evirici belirlenir, daha sonra bu eviricinin giriş eşiklerine uygun FV diziler oluşturulur. Bir eviriciyi karakterize ederken giriş ve çıkış gerilim eşiklerine, giriş ve çıkış akım eşiklerine, dalga şekli tipine, işletim modlarına ve anma gücüne bakılır. Ayrıca Türkiye dağıtım şebeke şartlarında çalışmaya uygunluğu, çalışma sıcaklığındaki değişimlere göre üreteçin geriliminin dalgalanması, eviricinin izin verilen maksimum giriş gerilimi, Eviricinin Maksimum Çalışma Noktası (MPP) gerilim aralığı ve tercih edilen inverter / üreteç güç oranı da seçim sırasında dikkate alınmalıdır. % 98 verime kadar performansları yükselmiştir.

PV Şarj Kontrol Cihazı: PV dizesi ve akü arasındaki arayüzü sağlayan bir cihazdır. FV sistem enerjisinin ve yüklerin durumuna göre şarj-deşarj işlemini gerçekleştirir, yönetir, çalışma modunu tayin eder. Yeni akıllı sistemlerde evirici ile entegre haldedir.

Batarya: Elektrik enerjisini kimyasal olarak depolar. Kuru, sulu ve jel çeşitleri bulunur. İçerisinde jöle kıvamında elektrolit bulunan jel aküler ağır çevresel koşullara özellikle de sıcaklığa dayanıklı bakımsız akülerdir. Bu yüzden Güneş Enerjisi Sistemlerinde özellikle tercih edilirler. Jel Akü hemen şarj edilmese bile, derin deşarjdan tamamen geri döndürülebilir. Günlük çevrimsel kullanım için idealdir. Uzun deşarjlarda mükemmel performans gösterirler.

Kablo: FV panellerin birbirine bağlanmasında, bu şekilde oluşan dizinin çıkışında, FV dize bağlantı kutusu ile eviricinin DA terminalleri arasında, eviricinin AA terminallerini dağıtım devresine bağlamada ve iletişim ile topraklama sistemlerinde kullanılır. Kablo seçimi yapılırken akım/gerilim değerleri mutlaka TS HD 60364 (IEC 60364) standardına göre belirlenmeli, bu hesaplamalarda yükseltme katsayıları kullanılmalıdır.

Montaj elemanları: Mevcut çatı üzerinde ve çatıya paralel kurulmuş FV GES sistemi tasarlanması durumunda, mevcut yapı taşıyıcı elemanlarının taşıma kapasitesi kontrolleri yapılmalıdır. Mevcut yapı taşıma kapasite kontrol tahkiklerinde zati, rüzgar ve kar yükleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalıdır. Mevcut yapı modelleme hesaplarında kullanılacak yönetmelikler; TDY-2007, TS-500, TS-498, TS-648 ve ilgili uluslararası yönetmelik ve standartlarda belirtilen durumlara göre hesapların teşkili yapılacaktır. Mevcut yapıda (çatı yapısı) kurulum yapılacak alana özel hesaplamalar yapılmalı ve bu yükleri taşıyacak mevcut yapı taşıyıcı sistem kapasite kontrollerinin statik hesapları bu Şartnameye uygun olarak yapılmalı ve mevcut yapıya ruhsat veren kurum tarafından kontrol edilmelidir. Ayrıca FV GES konstrüksiyon yapısı alt karkas elemanlarının yük - gerilme - sehim ve birleşim hesapları da özenle yapılmalıdır [71].

3.5. Standartlar

IEC Standartları bugün tüm dünyaca kabul görmüş ve uygulanmakta olan standartlardır. Yayınlanmış IEC Standartları, Avrupa'da Cenelec Standard organizasyonunca kabul edildikten sonra EN kodu ile Avrupa standardı olarak kabul edilirler. Bu standartlar, TSE'nin Cenelec üyeliği gereğince Türk standardı olarak kabul edilerek, TS başlangıç kodu ile birlikte yayınlanırlar. Bir FV sistemin tasarımı ve kurulumunda kullanılan tüm teçhizatın aşağıdaki Türk Standartları (TS) Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC, EN, HD, ISO) Standartları ve diğer standartların yürürlükteki en son baskılarına uygun olması beklenir. Ülkemizde de kabul görmüş ve tasarımdan projelendirmeye, malzeme seçiminden uygulamaya, test ve kabul işlemlerine kadar ihtiyaç duyulabilecek tüm standartlar aşağıda listelenmiştir (Tablo 3-1). Bunlara ek olarak tüm donanımın CE sertifikasyonuna tabi olması da gerekmektedir. Mevzuat güncellemeleri ve standardizasyon çalışmalarına bağlı olarak zaman boyutunda yeni eklemeler yapılabilir.

Tablo 3-1 FV güneş elektrik sistemleri için standartlar

TS Standart	Standart	Standart Adı
TSE CLC/TS 61836	IEC 61836	Fotovoltaik Güneş Elektriği Enerji Sistemleri, Terimler, Tarifler ve Semboller
TS EN 60891	IEC 60891	Fotovoltaik Elemanlar - I-V Karakteristiklerinde ölçülen Sıcaklık ve Işık Şiddeti Düzeltmeleri için İşlemler
TS EN 60904-1	IEC 60904-1	Fotovoltaik Elemanları Bölüm 1: Fotovoltaik Akım- Gerilim Karakteristiklerinin Ölçülmesi
TS EN 60904-2	IEC 60904-2	Fotovoltaik Elemanlar – Bölüm 2: Referans Güneş Elemanları ile İlgili Kurallar
TS EN 60904-3	IEC 60904-3	Fotovoltaik Elemanlar Bölüm 3: Spektruma Ait Işınlama Yoğunluğu Bilgileri Referans Alınarak Yeryüzünde Kullanılan Fotovoltaik (FV) Güneş Elemanlarının Ölçülmesi İle İlgili Genel Kurallar
TS EN 60904-4	IEC 60904-4	Fotovoltaik Elemanlar – Bölüm 4: Referans güneş elemanları-Kalibrasyon izlenebilirliğinin oluşturulması için prosedürler
TS EN 60904-5	IEC 60904-5	Fotovoltaik Elemanlar-Bölüm 5: Açık Devre Gerilim Metodu Fotovoltaik Elemanların Eşdeğer Hücre Sıcaklığının Belirlenmesi
TS EN 60904-7	IEC 60904-7	Fotovoltaik Elemanlar – Bölüm 7: Fotovoltaik Elemanların Deneylerinde Ortaya Çıkan Spektruma Ait Uyumsuzluğun Hesaplanması
TS EN 60904-8	IEC 60904-8	: Fotovoltaik Elemanlar - Bölüm 8: Bir Fotovoltaik Elemanın Spektrum Tepkisinin Ölçülmesi İçin Kılavuz
TS EN 60904-9	IEC 60904-9	Fotovoltaik Elemanlar – Bölüm 9: Güneş Simülatörleri - Performans Özellikleri
TS EN 60904-10	IEC 60904-10	Fotovoltaik cihazlar-Bölüm 10: Doğrusallık ölçüm metotları
TS EN 61215	IEC 61215	Kristalin Silikon Karasal Fotovoltaik (PV) Modüller-Tasarım Değerlendirmesi ve Tip Kabulü
TS EN 61646	IEC 61646	İnce filmli düz alanlı Fotovoltaik modüler- tasarım nitelikleri ve tip onayı
TS EN 61730-1	IEC 61730-1	Fotovoltaik (PV) modül güvenlik niteliği - Bölüm 1- Yapım özellikleri
TS EN 61730-2	IEC 61730-2	Fotovoltaik (PV) modül güvenlik niteliği - Bölüm 2- Deney özellikleri
TS EN 61345	IEC 61345	Fotovoltaik (FV) ünitelerin UV (ultraviole) deneyi
TS EN 61701	IEC 61701	Foto voltaj (PV) modüllerinin tuz buğusu orozyon deneyi
TS EN 61829	IEC 61829	Fotovoltaik silikon kristal dizisi-Yerinde I-V Karakteristik ölçümü
TS EN 61194	IEC 61194	Tek Başına Fotovoltaik Sistemlerin Karakteristik Parametreleri
TS EN 61702	IEC 61702	Doğrudan bağlantılı foto voltaj pompalama sistemlerinin sınıflandırılması
TS EN 61724	IEC 61724	Fotovoltaik sistem peformans izleme-Ölçüm, veri değişimi ve analiz için kılavuz
TS EN 61725	IEC 61725	Günlük Güneş Profillerinin Analitik Olarak İfade Edilmesi

TS EN 61727	IEC 61727	Fotovoltaik (PV) Sistemler- Fayda Arayüzünün Karakteristikleri
TS EN 62124	IEC 62124	Bağımsız güneş pil (PV) sistemleri - Tasarım doğrulaması
TS EN 62446	IEC 62446	Şebeke bağlantılı Fotovoltaik sistemler – Sistem dokümantasyonu, devreye alma deneyleri ve muayene için asgari kurallar
TS EN 61683	IEC 61683	Fotovoltaik sistemler – güç şartlandırıcılar - Verim ölçme işlemi
TS EN 62093	IEC 62093	Güneş pil sistemleri için sistem denge bileşenleri – Tasarım nitelendirmesi doğal ortamları
TS EN 62109-1	IEC 62109-1	Fotovoltaik güç sistemlerinde kullanım için güç çeviricilerinin güvenliği- Bölüm 1:Genel kurallar
TS EN 62109-2	IEC 62109-2	Fotovoltaik güç sistemlerinde kullanım için güç çeviricilerinin güvenliği – Bölüm 2: Dönüştürücüler için belirli kurallar
TS EN 62509	IEC 62509	Fotovoltaik sistemler için pil şarj kontrol cihazları- Performans ve fonksiyonlanma
TS EN 62108	IEC 62108	Yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) modüller ve montaj - Tasarım kalitesi ve tip onayı
TS HD 60364	IEC 60364 (Tüm Bölümleri)	Alçak gerilim elektrik tesisatı
	IEC 60364-6	Alçak gerilim elektrik tesisatı – Bölüm 6: Doğrulama
	IEC 60364-7-712	Binalarda elektrik tesisatı – Bölüm 7-712: Özel tesisat ve yerleşim gereksinimleri – Fotovoltaik güç kaynağı sistemleri
TS IEC 60755	IEC 60755	Artık akımla çalışan koruyucu düzenler-Genel kurallar
TS EN 61557	IEC 61557 (Tüm Bölümleri)	Alçak gerilim dağıtım sistemlerinde elektriksel güvenlik-1000 V AC ve 1500 V DC'ye kadar-Koruyucu düzenlerin denenmesi, ölçülmesi veya izlenmesi ile ilgili donanımlar
TS EN 61730	IEC 61730 (Tüm Bölümler)	Fotovoltaik modül güvenlik niteliği
TS EN 50438	IEC 50438	Mikro jeneratörlerin alçak gerilim dağıtım şebekeleri ile paralel bağlanması için kurallar
TSE K 191		Faz akımı 16 A'den büyük olan jeneratörler için bağlantı kuralları - Dağıtım sistemine AG seviyesinden bağlanan
TSE K 192		Faz akımı 16 A'den büyük olan jeneratörler için bağlantı kuralları - Dağıtım sistemine OG seviyesinden bağlanan
TSE EN 62446	IEC 62446	Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler - Sistem dokümantasyonu, devreye alma deneyleri ve muayene için asgari kurallar
TSE EN 5021	IEC 50521	Fotovoltaik sistemler için bağlayıcılar - Güvenlik kuralları ve deneyler
TSE EN 62305	IEC 62305	Yıldırımdan Korunma

3.6. Testler

Bir FV GES işletmeye alınırken bazı testlere tabi tutulmalıdır. Bu testler AA ve DA bölümler için yukarıdaki standartlar doğrultusunda ayrı ayrı yapılır. AA tarafı için kontrol ve test belgelendirmesi tipik olarak Elektriksel kurulum sertifikası, Parçaların kontrol takvimi ve Test sonuçları çizelgesi hazırlanarak yapılır. Sistemde DA tarafının kontrolü ve testi ise Kontrol çizelgesi, Koruyucu topraklamanın ve/veya eşpotansiyelli bağlama kablolarının (eğer uygunsa) bağlantı testi, Polarite testi, Dizi açık devre gerilim testi, Dizi kısa devre akım testi, Fonksiyonel testler, DA devrelerin yalıtım direnci'nden ibarettir.

Saha kurulumları için ek olarak: İşletmeye alma testleri, Koruma topraklaması ölçümü, Dizi seri bağlantı testi, Dizi paralel bağlantı testi, Evirici giriş DA gerilim testi, Evirici çıkış AA bağlantı testi, Evirici devreye alma prosedürü, Evirici güç üretim değerleri analizi, Şebeke kaybı koruması testi, Kaçak akım koruma testi, Evirici veri toplama ve iletişim sistemi sınaması yapılmalıdır.

3.7. Uygulama

Hem lisanslı hem lisanssız, hem şebekeli hem şebekesiz tüm güneşten elektrik üretim santralleri için kurulum yeri seçilirken sahanın güneş enerjisi potansiyeli ile tesis kurulum ve işletim maliyetlerinin doğru belirlenmesi son derece önemlidir. Bu değerlendirmenin yapılması için kurulum sahası ile ilgili olarak aşağıdaki kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir:

Sahanın Yeryüzündeki Konumu: Kurulum sahası ekvatora ne kadar yakınsa o kadar daha fazla güneşlenme süresine ve sahaya dik gelen güneş ışınına sahip olacaktır. İklim ve konum özellikleri bir kenara koyulursa, Türkiye için yatırım yapılacak bir saha ne kadar güneyde ise, güneşlenme süresi o kadar fazladır ve güneşten o kadar daha fazla dik ışın almaktadır denilebilir. Sahanın denizden yüksekliği de üzerindeki atmosfer kalınlığını göstermek adına önemlidir. Atmosfer kalınlığın, güneş ışınlarının yere ulaşırken kat edeceği yolun uzunluğunu gösterir. Yol uzadıkça ışınların maruz kalacakları durdurucu, yansıtıcı, emici, sıçratıcıların miktarı da artacaktır. Ayrıca yüksek rakım demek, atmosfer fiziği gereği, göreceli olarak çukur alanlardan daha serin demektir. Bu serinlik de FV panel performansını olumlu etkileyecektir.

İklim Özellikleri: Özellikle küresel ısınmanın getirdiği ve getireceği iklim değişiklikleri, bir güneş enerjisi santrali yatırım ömrünün en az 25 yıl olacağı düşünüldüğünde mutlaka dikkate alınması gereken bir kriterdir. Örnek olarak, halen büyük ölçüde kurumuş olan bir nehir yatağı ile bağlantılı bölgede güneş enerjisi santrali kurmak, ileride bu nehrin tekrar akar hale gelerek taşkınlara neden olabilmesi açısından büyük risk taşımaktadır. Kurulum sahasının bulunduğu bölgede gündüz saatleri içerisinde gökyüzü ne kadar açıksa, diğer bir deyişle atmosfer ne kadar az yoğun ise sahaya o kadar daha fazla direkt güneş ışını ulaşabilecektir. Herhangi bir anda güneş ışınlarının sahaya geliş yönünde atmosfer yoğunluğu ve atmosferde bulunan bileşenlerin yansıtma, ışını emme ve saçma özellikleri ne kadar az ise, sahaya o kadar

daha fazla güneş ışıması (radyasyon) ulaşacaktır. Sahaya gelen en değerli güneş ışınları ise direkt gelen yüksek frekanslı (yüksek enerjili) ışınlardır. Dolayısıyla sahanın gökyüzü açıklığı yüksek olan bölgelerde, atmosfer kalınlığının yüksek irtifalarda azaldığı dikkate alınarak yüksek rakımlı bir bölgede olması tercih edilmelidir. Genellikle bulutlu, nemli, kirli veya tozlu, kısaca ışınların sahaya gelişini engelleyen ve/veya saçılımına yol açan atmosfer özellikleri olan bölgeler tercih edilmemelidir. Gökyüzü açıklığı ve atmosfer kalınlığı ise hem iklime hem de insan katkısı ile oluşan hava kirliliğine bağlıdır. İnsan katkısı ile oluşan hava kirliliği yerleşim bölgelerine yakınlaştıkça artmaktadır. Aynı şekilde sahada ve etrafında bulunan alanların rüzgârla birlikte havaya toz, toprak tanecikleri saçabilecek özellikte zemine sahip olmaması tercih sebebidir. Rüzgârla birlikte havaya saçılma potansiyeli barındıran gevşek toprak zeminler, etrafta bol miktarda kuru yaprak vb saçılma potansiyeli bulunan sahalar tercih edilmemektedir. Nem ve bulutluluğu, deniz ve göl gibi büyük su kütlelerinin, bitki örtüsünü etkilediği düşünülürse, kurak alanlar tercih edilmelidir. Kurak alanlar nem ve bulutluluk bakımından güneş enerjisi yatırımı için ideal olmakla beraber, rüzgârlı bölgelerin aynı zamanda toz toprak savrulmasına elverişli olabileceği de dikkate alınmalıdır. Gökyüzü açıklığını etkileyen nem, toz toprak gibi faktörlerin aynı zamanda panellerin yüzeylerini kaplaması sebebiyle diğer bir olumsuz etkisi bulunmaktadır. Örneğin nem oranı yüksek bir sahada, su buharı aynı zamanda panel yüzeyinde oluşacak ve panele gelen ışınların yansımasına veya saçılmasına yol açacaktır. Benzer şekilde havada rüzgârla uçuşan toz, toprak, yaprak vb etkenler aynı zamanda panel yüzeyinde birikerek güneş ışınlarının engellenmesine sebep olacaktır.

Bu etkilere kar ve yağmur da eklenebilir. Bu faktörler, özellikle panellerin temizliği için gerekli su ihtiyacını ve temizlik giderlerini etkileyecektir. Güneş enerjisi tesislerinin verimliliğini etkileyen diğer bir özellik yüzeye yakın mesafedeki hava sıcaklığıdır. Özellikle fotovoltaik panellere gelen radyasyonun büyük bir kısmı, panel yüzeyinde ısı enerjisine dönüşmektedir. Panel yüzeyleri ısındıkça, panelden elde edilen elektrik enerjisi oranı azalmaktadır. Bu sebeple hava sıcaklığının, panel sıcaklığını arttırıcı veya soğutucu etkisi olacağı düşünülürse, yerden birkaç metre yükseklikte yüzey sıcaklığının düşük olduğu sahalar tercih edilmelidir. Aynı şekilde rüzgârın panel yüzeylerini soğutma etkisi göstereceği düşünülerek, fırtına seviyelerine ulaşmayan veya toz toprak saçılımı olmayan bölgelerde, makul bir rüzgâra sahip sahalar tercih edilecektir. Kısaca, sahanın bulunduğu bölgede açık gökyüzü, düşük hava sıcaklığı, makul şiddette rüzgâr, temiz zemin ve ortam özellikleri tercih edilir. Bununla birlikte sahada kar, dolu ve yağmur yağışı, istenmeyen özelliklerdir.

Sahanın Konumsal Özellikleri:

- Sahanın ortalama eğimi 5 dereceden yüksek olmamalıdır.
- 1. Derece deprem bölgelerindeki fay hatları üzerinde olmamalıdır.
- Kanunlarca koruma altına alınmış bir alan olmamalıdır.
- Üretken veya sık dokulu orman arazisi üzerinde olmaması tercih edilmelidir.

- Yatırımcının tapulu veya sözleşmeli arazisi değil ise verimli tarım arazisi üzerinde olmaması tercih edilmelidir (Verimli tarım alanları genel olarak kuru, sulu ve dikili tarım alanlarıdır).
- Mera sahası olmaması tercih edilmelidir.
- Saha üzerinden demiryolu ve karayolu geçmemelidir.
- Hava alanına yakın mesafede olmamalıdır.
- Akarsu yataklarından, durgun göl, doğal veya inşa edilmiş barajlı göllerden, su kaynağı kurumuş dahi olsa kayıtlı sulak alan sınırlarından uzakta olmalıdır.
- Askeri amaçla kullanılan (silahlı tatbikat alanı gibi) bir bölgede olmamalıdır.
- Yerleşim alanı olmaması tercih edilmelidir.
- Ana karayollarına ve kıyı şeridine en az 100 metre uzaklıkta olmalıdır.
- Maden, petrol, doğalgaz vb arama alanı olmamalıdır.

Sahaya gelen güneş ışınlarını etkileyen diğer bir faktör ise, sahaya gölge etkisi olabilecek yükseltilerdir. Sahaya güneş ışınlarının gelmekte olduğu, güneşin doğumundan batımına kadar, doğu, batı ve güney yönleri arasında gölgeleme etkisi olan yükseltilerin bulunmaması tercih edilmelidir. Panellerin ve diğer tesis bileşenlerinin uygun şekilde konumlandırılabilmesi amacıyla saha yüzeyinin de düz olması, arazi ortalama eğiminin en fazla 5 derece olması tercih edilmektedir. Yüksek eğim ortalamasına sahip sahalarda tesis kurulum (inşaat) maliyetleri yüksek olacaktır. Saha tercihlerini etkileyebilecek diğer bir özellik, sahanın yoğun kuş göç yolları üzerinde veya kuşların göç ederken konaklama sahalarına yakın olmamasıdır. Bunun sebebi kuş dışkılarının panel yüzeylerini kapatması ve zor temizlenebilmesidir. Her ne kadar fotovoltaik panellerin çalışması için su gerekmese bile, sahanın toz ve kirlilik özelliklerine bağlı olarak düzenli temizlik yapılabilmesi için su lazım olmaktadır. Dolayısıyla sahanın durgun olmayan bir su kaynağına uzaklığı dikkate alınmalıdır. Sahanın 1. derece deprem bölgelerindeki aktif fay hatları üzerinde olmaması, büyük akarsuların yataklarına çok yakın olmaması, sahanın kuzey yönünde bile olsa, yakında dik eğimli yükseltiler var ise heyelan, çığ veya taşkın gibi sahanın bulunduğu bölgeden kaynaklanabilecek risklere açık olmaması gözetilmelidir. Sahanın uygunluğunu belirleyen önemli özelliklerden birisi, elektrik şebekesine bağlantı ve iletim olanağının bulunmasıdır. Sahanın güneş potansiyeli ve diğer özellikleri çok uygun olsa dahi, sahada kurulacak bir tesisin şebekeye bağlantı olanaklarının bilinmesi, bağlantı imkânı yoksa trafo ve/veya iletim hattının yapılmasının ekonomik ve teknik olurunun değerlendirilmesi gerekmektedir [72].

Diğer Hususlar: Yatırım yapılması düşünülen saha için teknik kriterlerin uygunluğunun yanı sıra, sahada kurulması öngörülen bir güneş enerjisi yatırımının ne ölçüde lisans alma şansının olabileceği, önemli diğer bir kriterdir. Bu amaçla; seçilen sahanın bağlanacağı trafoya en az 20 km uzaklıkta bulunan diğer güneş enerjisi yatırımına elverişli sahaların ne kadar fazla veya az olduğuna dikkat edilmelidir. Trafonun belli bir bağlantı kısıtı olacaktır ve o trafoya bağlanmak üzere yapılacak tüm güneş enerjisi lisans başvurularına trafo ve iletim kısıtları nedeniyle lisans verilemeyebilecektir. Dolayısıyla, bağlanılması düşünülen trafo merkezi etrafında ne kadar fazla saha varsa, o trafoya o kadar fazla lisans başvurusu olacağı

düşünülmelidir. Bu durumda, lisans alma aşamasında yapılabilecek "katkı payı ihalesi"nde yaşanabilecek rekabetin boyutu hesaba katılmalıdır. Bu kriterler "sahanın rekabete açıklığı" olarak adlandırılabilir. Eğer lisans başvurusunda bulunulacak olan saha yatırımcıya ait veya yatırımcının kiraladığı özel mülkiyet değilse, sahayı kısmen veya tamamen içine alan diğer lisans başvurularının olması durumunda, saha lisans aşamasında ihaleye çıkartılabilecektir. Dolayısıyla yatırımcı, teknik kriterlerin yanı sıra, sahanın bağlantı imkânı ve saha çakışması itibarıyla sahanın rekabete açıklığını dikkate almalıdır. Eğer saha, yatırımcının sahip olduğu veya kiraladığı özel mülkiyet değil ise, lisans başvurusunda bulunulacak sahanın konum bilgilerinin gizliliğine dikkat edilmelidir. Bu kriterlere, "sahanın bulunabilirliği" ismi verilebilir [73].

Güneş enerjisi yatırımcıları açısından bölge seçimine etki eden diğer bir önemli faktör, devletin seçim yapılacak bölgeye ilişkin olarak sağladığı avantajların çokluğudur. Bu avantajlar, altüst yapı desteği, vergi ve harç benzeri muafiyetler, kredi imkânları, bedelsiz arsa tahsisleri ve enerji desteği gibi farklı konuları kapsayabilmektedir [73].

Bunlara ek olarak Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisi Yatırım Sürecinde:

- Yatırım Yeri Seçimi
- Fizibilite Etüdü
- Elektrik İletim Şirketinden Bağlantı Talebi
- Projenin Hazırlanması
- Yerel Otoriteler ile Mutabakatın Sağlanması
- Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED)
- Elektrik İletim Şirketi ile Anlaşmanın Yapılması
- Proje Fon Başvurusunun Yapılması
- Lisans Başvurusu
- Gerekli Tüm İzinlerin Alınması
- Finans Desteğinin Alınması
- Tesisin Kurulumu
- İşletim ve Bakım koşullarının uygunluğu da sorgulanmalı, irdelenmeli, raporlanmalıdır!

3.7.1. Şebekeli ve şebekesiz FV GES

FV sistemler kullanım şekli olarak şebekeli ve şebekesiz olmak üzere iki farklı çeşitte uygulanırlar. Elektrik şebekesinin olmadığı yerler için şebekesiz, diğer adlarıyla şebeke bağlantısız veya off-grid; şebeke olan yerler için şebekeli, diğer adlarıyla şebeke bağlantılı veya on-grid olarak kurulabilirler. Şebeke olmasına rağmen şebekeye elektrik vermeksizin depolamalı kurulacak ve enerji üretemediği veya depolamadan yükü besleyemediği zamanlarda farklı bir kaynaktan elektrik alabilecek sistemler ise hibrit (melez-karma) olarak isimlendirilirler.

Şebekeli sistemlerin konut tipi olanları çift yönlü veya çift sayaç ile şebekeye bağlanırken, büyük ölçekli sistemlerin bağlantıları ise transformatörlerle orta (OG) veya yüksek gerilim (YG) hatlarına bağlanırlar. Üretim ve tüketim aynı yerde ise çift yönlü sayaç, farklı yerlerde ise çift sayaç kullanılır. Buna ek olarak tüm dünyada kabul görmüş Binaya Tümleşik FV Sistem (BIPV), yüzey kaplama FV sistem (façade) de yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

3.7.2. Lisanslı ve lisanssız FV GES

Teknik olarak mevcut teknoloji sınırları içerisinde kurulumu tasarlanan ve uygulan FV sistemler, idari düzenlemelerle de farklı tanımlamalarla yöntem ve büyüklük olarak sınırlandırılmışlardır. Mevzuatımız (Bkz.B:1.3) gereği 1000 kW (1 MW) FV kurulum gücü sistemin statüsünün belirlenmesinde bir sınır olarak uygulanmaktadır. 1 MW üzeri **Lisanslı**, 1 MW altı **Lisanssız** olarak tarif edilmiştir. Bakanlar Kurulu bu eşiği değiştirme yetkisini elinde bulundurur.

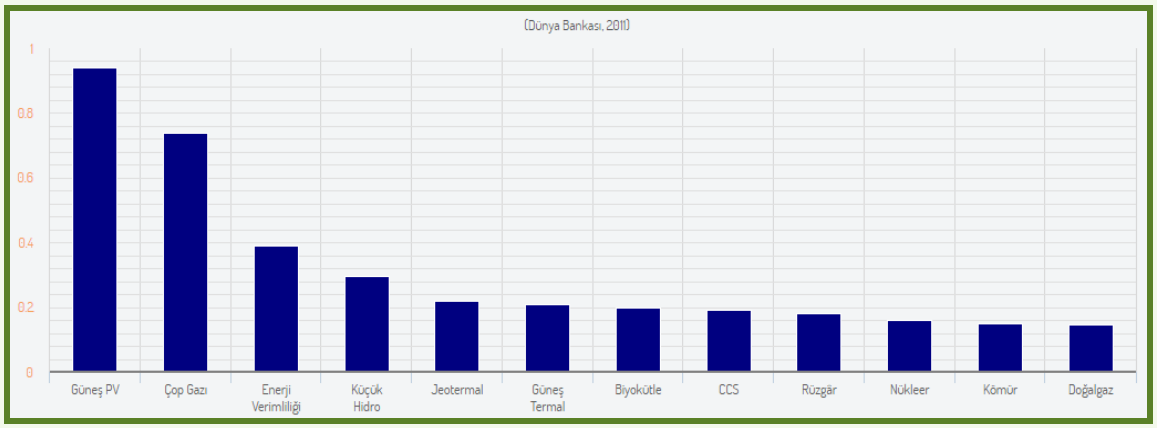
Lisans gerektirmeyen FV GES'ler fabrika, alışveriş merkezi, üniversite, toplu konut bölgesi vb merkezlerin öz elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için uygundur. Lisanslı FV GES'ler ise yatırım amaçlı, yani ürettiği elektriği yasada belirlenmiş olan değerlerden satarak gelir elde edilmesi amaçlanan büyük santrallerdir.

LÜY'de ayrıca, **enerji kooperati**fleri için muafiyet tanınarak ortak bağlantı noktası zorunluluğu olmaksızın ortak sayıları ile doğru orantılı olacak şekilde 5 MW'a kadar lisanssız üretim yapabilme imkanı da bulunmaktadır. 7-100 ortaklı kooperatifler 1 MW'a kadar, 100'den fazla 500'e kadar ortaklı kooperatifler 2 MW'a kadar, 500'den fazla 1000'e kadar ortaklı kooperatifler 3 MW'a kadar, 1000'den fazla ortağı olan kooperatifler 5 MW'a kadar kendi elektriğini üretebilmektedir. Almanya'da 1.000'e yakın enerji kooperatifi bulunmaktadır. Türkiye'de ise faaliyete geçmeyi bekleyen halihazırda kurulu 7 adet yenilenebilir enerji kooperatifi var. Bir köydeki çiftçiler veya OSB'de faaliyet gösteren işletmeler ortak bir enerji kooperatifi kurarak, işin başında belirli bir ortaklık bedeli ödeyerek, rüzgar, güneş ve biyokütleden kendi elektriğini üretebilmektedir. Kapasite tahsis sorununun çözülmesiyle birlikte ürettiği fazla elektriği sisteme vererek ortaklık payına göre para da kazanabilmektedir.

3.8. Kurulum ve sonrası

3.8.1. İstihdam

FV güneş elektriği sektöründe 1.652.000'i Çin'de, 143.000'i Avrupa'da olmak üzere dünya genelinde toplam 2.772.000 çalışan bulunmaktadır [8]. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla kıyasladığımızda da en fazla istihdam yaratan teknolojinin FV GES'ler olduğu bildirilmektedir (Şekil 3-11).



Şekil 3-11 Çeşitli elektrik üretim teknolojilerinin GWh başına yarattığı iş miktarı [74]

Mesleki Yeterlilik Kurumu (MYK), 2012'de yaptığı çalışma ile "**Fotovoltaik Güç Sistemi Personeli (FVGSP S5)**" Seviye 5'ten bir Ulusal Meslek Standardı oluşturmuştur. Bu standarda göre FVGSP S5, iş sağlığı ve güvenliği ile çevreye ilişkin belirlenmiş önlemleri alarak, kalite sistemleri çerçevesinde; tasarımı ve iş programı tamamlanmış ve gerekli teçhizatı temin edilmiş fotovoltaik güç sistemlerinde, montaj şemalarına uygun biçimde denge bileşenlerinin ve FV modüllerin montajının ve sistem içi elektriksel bağlantılarının yapılmasını sağlayan, kurulum planlarının oluşturulmasında ve kurulum yerine uyarlanmasında görev alan, montaj işlemleri sırasında kullanılacak araç, gereç, malzeme ve ekipmanın hazırlanmasını sağlayan, sistem bileşenlerini montaj şemasına uygun biçimde konumlandıran, elektriksel sürekliliklerinin ölçülmesini ve buna göre montaj hatalarının giderilmesini sağlayan, performans değerlendirme tablolarının hazırlanması ve şebeke bağlantılı sistemlerde şebeke ile bağlantısının yapılması iş ve işlemlerini gerçekleştiren, şebekeden bağımsız sistemlerde sistem çıkışını besleme hattına bağlayarak işletmeye alan, kullanılan ekipmanın bakımını üstlenen ve mesleki gelişim faaliyetlerini yürüten nitelikli kişidir. Mesleğin Uluslararası Sınıflandırma Sistemlerindeki Yeri ISCO 08: 3131 Enerji üretim tesisi operatörleri'dir. Meslek ile ilgili mevzuat düzenlemeleri hazırdır [75].

Fotovoltaik Güç Sistemi Personeli mesleğinin gerektirdiği sağlık, güvenlik ve çevre ile ilgili mevzuata uymakla yükümlüdür. Açık alanda, çatı, kule, bina sathı, direk gibi yüksek mevkilerde, gemi ve benzeri deniz taşıtlarında çalışır. Bazen montajı, ada veya dağlık bölgeler gibi erişimi güç ve elektrik şebekesinin ulaşmadığı ücra yerlerde yapmak zorunda kalabilir. Çalışma ortamının olumsuz koşulları arasında gürültü, koku, toz, yüksek derecede güneşe maruz kalma, çok sayıda elektriksel ve mekanik bileşenin bağlantılarından kaynaklanan karmaşıklık sayılabilir. Çalışmalar sırasında diğer meslek elemanları ile etkileşimli ve dönüşümlü çalışmalar yapması gerekebilir. Mesleğin icrası esnasında iş sağlığı ve güvenliği önlemlerini gerektiren kaza ve yaralanma riskleri bulunmaktadır. İşlemler sırasında uygun kişisel koruyucu donanım kullanarak çalışması zorunludur [71].

FV GES sektöründe istihdam edilmek üzere ihtiyaç duyulacak pozisyonlar MYK tarafından belirlenmiş, sıfatları ve iş tanımları yapılmıştır. Bu haliyle FVGSP S5 yanında seviyelendirilmiş diğer kadroların Meslek Tanımları:

Fotovoltaik Güç Sistemi Personeli (Seviye 3) (FVGSP S3), tasarımı ve iş programı tamamlanmış ve gerekli teçhizatı temin edilmiş FV güç sistemlerinde, montaj şemalarına uygun biçimde denge bileşenlerinin ve FV modüllerin montajını ve tasarım planlarına uygun biçimde mekanik yapı kurulumunu yapan ve mesleki gelişime ilişkin faaliyetleri yürüten nitelikli kişidir. Montaj işlemleri sırasında belirlenen zaman programına uygun hızda çalışılması, iş ve kişi güvenliği ilkelerine uyulması, montaj şemalarına sadık kalınması esastır.

Montaj işlemleri sırasında kullanılacak araç, gereç, malzeme ve aparatların hazırlanması, sistem bileşenlerin montaj şemasına uygun biçimde konumlandırılması ve gerektiği biçimde sabitlenmesi FVGSP S3 görev tanımı içerisindedir.

FVGSP S3, genel nezaret altında iş talimatlarına uygun biçimde gerçekleştirdiği işlemlerin doğruluğundan, zamanlamasından, kalitesinden ve güvenli bir şekilde tamamlanmasından sorumludur. Çalışılan yerin temizliğini ve emniyetini sağlamanın yanı sıra kullanılan donanımın bakım ve temizliğini de üstlenir.

Fotovoltaik Güç Sistemi Personeli (Seviye 4) (FVGSP S4), tasarımı ve iş programı tamamlanmış ve gerekli teçhizatı temin edilmiş FV güç sistemlerinde, montaj şemalarına uygun biçimde denge bileşenlerinin ve FV modüllerin montajını ve sistem içi elektriksel bağlantılarını yapan, kurulum sırasında kurulum yerine uyarlama için gerekli gördüğü değişiklikleri yetkilisine bildiren ve mesleki gelişime ilişkin faaliyetleri yürüten nitelikli kişidir. Montaj işlemleri sırasında belirlenen zaman programına uygun hızda çalışılması, iş ve kişi güvenliği ilkelerine uyulması, montaj şemalarına sadık kalınması esastır.

Montaj işlemleri sırasında kullanılacak araç, gereç, malzeme ve aparatların hazırlanması, sistem bileşenlerin montaj şemasına uygun biçimde konumlandırılması ve gerektiği biçimde sabitlenmesi, elektriksel sürekliliklerin ölçülmesi ve buna göre montaj hatalarının giderilmesi FVGSP S4 görev tanımı içerisindedir.

FVGSP S4, kısmi nezaret altında iş talimatlarına uygun biçimde gerçekleştirdiği işlemlerin doğruluğundan, zamanlamasından, kalitesinden ve güvenli bir şekilde tamamlanmasından sorumludur. Çalışılan yerin temizliğini ve emniyetini sağlamanın yanı sıra kullanılan donanımın bakım ve temizliğini de üstlenir.

Fotovoltaik sistem kurulumu için risk belirlemesi yapılırken, FV'ye özel tehlikelerden özellikle bahsetmek gerekir. Bunlar standart Kişisel Koruyucu Donanım Ekipmanı'na, yüksekte çalışma, elle taşıma, cam işleme ve inşaat işleri ve yönetimi ile ilgili yönetmeliklere zamanla entegre edilmesi beklenmektedir. FV modülleri güneş ışığına maruz kaldıkları anda elektrik üretmeye başlarlar ve kapatılamazlar. Bu bakımdan diğer elektrik tesisat kurulumlarına göre bir FV sistem kurulumu canlı bir sistemde çalışmak demektir. Tesiste çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve ilgili yönetmelik, tebliğlere göre çalıştırılmaları zorunludur. Akım sınırlayıcı ekipman olarak, FV modül dizileri hata anında sigortalar tarafından fark edilip ayrılamazlar. Nitekim kısa devre akımları nominal akımlarından biraz

yüksektir. Hata oluştuğu zaman uzun süre tehlikeli olarak kalabilir. İyi kablolama ve tasarım daha sonra sistemle uğraşacak kişilerin de elektrik çarpmamasına karşı yardımcı olur. Beklenmeyen arıza akımları yangın tehlikesine dönüşebilir. Böyle bir durumu engellemek için sigorta dışında iyi tasarım, dikkatli kurulum çok önem kazanır. FV tesislerde çalışanlar için düşme riski, yaralanma gibi durumlar nadiren de olsa karşımıza çıkar. Aynı zamanda elektrik çarpmasına karşı da dikkatli olunmalıdır.

FV kurulumda canlı çalışma kaçınılmazdır. Ancak sistem tasarımdaki önlemler ve çift yalıtım ile şok korumaya karşı önlem sağlanır. Ayrıca, sadece bir DC iletken elindeyken çalışmak düşük bir tehlike arz etse de bu tehlike de uygun koruyucu aletlerle azaltılmalıdır. Eğer bir yerde aynı anda çıplak artı ve eksi kutuplarıyla çalışmak gerekirse uygun yalıtkan eldiven ve araçlar kullanılmalıdır. Geçici bir uyarı işareti ve bariyer kullanılmalıdır. Canlı kablolarla çalışmada tehlikeyi azaltmak için geceleri de (yeterli aydınlatma ile) çalışmak mümkündür. Alternatif olarak bir dizeyi örterek de çalışılabilir. Fakat bir FV dizeyi örtmek, kurulum süresince hava şartlarından dolayı o örtüyü korumak pratik olmayacağı için genelde tavsiye edilmez.

Yukarıdaki tüm önlemlere rağmen, bir teknisyen veya servis mühendisi yine de elektrik çarpması tehlikesi ile karşılaşabilir, bu nedenle; sistemin herhangi bir bölümüne dokunmadan önce parçaların geriliminin varlığı açısından test edilmelidir. Bir FV sisteminde kapasitif elektrik birikebilir. Örneğin metal çerçeveli veya çelik sırtlı yani amorf (ince film) modüllerin belirli türlerinde bu daha yaygındır. Bu gibi durumlarda, uygun ve emniyetli canlı çalışma uygulamaları kabul edilmelidir. Örnek olarak böyle tehlikelerin karşılaştığı yerlerden biri, personelin topraklanmış metal çatıda otururken FV dizesini kablolamasıdır. Böyle durumlarda personel kablo ucuna dokunarak toprağa karşı bir akım başlatır ve elektrik şoku yaşar. Elektrik şok gerilimi dizideki seri modül sayısının artmasıyla artar. Yalıtım eldivenleri giymek ve bunun yanında yalıtılmış bir matın üzerinde oturmak bu tehlikeyi önleyebilir.

Bir FV dizesinin toprağa kaçak akımıyla da bir elektrik şok yaşanabilir. İyi kablolama, çift izolasyon ve çift veya güçlendirilmiş yalıtım (sınıf II) modüller önemli ölçüde bu sorunu azaltabilir, ancak herhangi bir kurulu sistemde, kaçak yollar yine de oluşabilir. Bir FV sistem üzerinde çalışan herhangi bir kişi bunun farkında olmalı ve gerekli önlemleri almalıdır [71].

3.8.2. Temizlik, bakım, arıza

Muhtemel fotovoltaik panel arıza nedenleri şu şekilde özetlenebilir:

a) kısa devre, b) panel üzerinde pislik, c) sıkışmış nem, d) cam veya hücre çatlakları, e) panel içi temas hatası, f) arızalı by-pass diyotları…

FV bakım için ilk etapta yapılması gereken FV panellerin düzenli aralıklarla temizlenmesidir. Bu temizlik kuyu, sondaj, artezyen, göl vb kaynaklardan sağlanan su ile yapılırsa, su buharlaştıktan sonra içerisindeki partiküller panellerin yüzeyinde bir ışın engelleyici unsur olarak kalabilir. Bu sebeple FV panel temizliğinin deiyonize saf su ve bu işe uygun ekipmanla

yıkanıp temizlenmesi uygun olacaktır. Ayrıca temizlik amaçlı herhangi bir kimyasal kullanılması da FV panelin EVA kısmını tahrip ederek, yaşlanmasını hızlandırıp geçirgenliğini azaltabilir. Yine temizlik sırasında panellerin sıcaklığına uygun su ve ortam sıcaklığı gözetilerek hücrelerin ısı farkından dolayı genleşip daralmasının önüne geçilmelidir. Uygulama sırasında doğrudan panellere basılarak temizlik işleminin yapılması da gözle görülemeyen çatlakların oluşmasına neden olabilir. Kullanılan fırça vb araçların EVA'ya uygunluğu da dikkat edilmesi gereken bir başka husustur.

3.8.3. FV garanti ve sigortalama

FV GES için üç ayrı garanti bulunmaktadır. Bunlar, uygulayıcı garantisi, temel ekipman ürün garantileri ve üretim garantisidir.

Uygulayıcı Garantisi: Uygulayıcının temel ekipman imalatçılarından temin ettiği Garanti Belgeleri'dir. Uygulayıcı ve yatırımcı arasında başka bir garanti anlaşması yapılmamışsa uygulayıcı sadece 24 ay boyunca yardımcı ekipmanların tasdiki ve GES Montajına ilişkin olarak sorumluluk taşır.

Temel Ekipman Ürün Garantileri: Ana akım FV modüllerin 10 ve 25 yıllık periyodlarını kapsayan iki farklı garantisi tek ve bütünleşik bir ürün garantisi altında toplanmıştır. Fotovoltaik panellerin normal uygulama, kullanım ve hizmet koşulları altında malzeme ve işçilik ayıpları hariç, FV modüllerin standart deney şartları altında ilk 10 yıllık kullanımı içerisinde orijinal ürün etiketinde yazan güç çıkışının % 90'ından daha düşük bir güç çıkışı vermesi halinde geçerlidir. Aynı ürün garantisi 10-25 yıl arasındaki kullanım dönemi için % 80'inden daha düşük bir güç çıkışı vermesi halinde geçerli olacaktır.

İnvertöre bağlı ve onunla senkron olarak üretim takibini gözlemlemeye yarayan "İzleme Sistemi" GES üzerine gelen ışıma miktarını ve panel serileri üzerinden invertöre gelen DC gücü göstermektedir. GES işletimi esnasında iki değer arasında gözlemlenen farkın takibi ile bir sorun olup olmadığı anlaşılabilmektedir. Bazı invertörler kendilerine has izleme sistemleri sayesinde her panelin çalışma performansını gösterebilmektedir.

Üretim Garantisi: Uygulayıcı ile yapılabileceği gibi bağımsız bir sigorta şirketi ile de yapılabilir. İzleme sistemi ile GES üzerine gelen ışıma miktarı ve sistemin ulusal ağa verdiği elektrik enerjisi incelenerek belirlenir. Teorik olarak alınan FV'ler üzerine gelen ışıma miktarı ile sistemin birikimli kayıpları sonrası beklenen elektrik üretim miktarı sıkça karıştırılmaktadır. Güneş enerjisi değişken bir kaynak olduğu için üzerine gelen ışıma miktarı oranında elektrik üretebilmektedir. Burada bağlayıcı olan, sistemin ulusal ağa verdiği elektrik için vaat edilen birikimli sistem performansını gösterip gösteremediğidir. Üretim garantisi ayrıca, Temel Ekipman Üretim Garantileri, dizayn esnasında belirlenen sistem performansı ile reel olarak gerçekleşmiş senelik kümülatif ışıma miktarı arasındaki denklem sonrasında belirlenen büyüklük ile reel olarak gerçekleşen üretim değeri arasındaki farkın alıcıya ödenmesi şeklinde gerçekleştirilmelidir [76]. Üretim garantisinin sağlaması ve FV GES

performansının sağlıklı değerlendirilebilmesi için yatayda ve/veya FV panel eğiminde yerleştirilmiş piranometreler ile dakikalık ölçüm alınması gerekmektedir. Sistemin kurulu gücüne ve yatırım maliyetine bağlı olarak tam donanımlı bir meteoroloji istasyonu işletilmesinde fayda vardır. Yatırımcı, kurulumcu (EPC), üretici ve sigortacı arasındaki muhtemel ihtilafların önüne geçebilmek adına referans kabul edilebilecek meteorolojik ölçüm şarttır. Bu gereklilik tüm proje geliştiriciler tarafından ilk tasarım aşamasından itibaren dikkate alınmalıdır.

Sigortalama: FV GES yatırımı yaparken, tesisin hasar görebileceği, çalınabileceği, arıza yapabileceği veya başarısızlıklara uğrayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. İşletme sırasında onarım ve yenileme gibi masraflar söz konusu olabilir. Bu sebeple FV GES koşullarına göre hazırlanmış bir sigortalama kullanışlı olabilir. Sigortalanabilecek donanım:

- Güneş panelleri, invertörler / transformatörler;
- Temeller, destekleyici yapılar ve çitler;
- Montaj materyali ve kablolar;
- Binalar ve kabinler;
- Gözetim / güvenlik ekipmanı;
- Diğer müştemilat ve aksesuarlar olarak özetlenebilir.

Her bir donanım için yaklaşık olmakla birlikte şu kusurlardan kaynaklanan ani ve öngörülemeyen hasarlar:

- 20 yıla kadar FV paneller;
- 7,5 yıla kadar invertörler;
- 20 yıla kadar transformatörler;
- 20 yıla kadar kablolar;
- 20 yıla kadar montaj sistemi için karşılanabilir.

Bu sayede:

- Yanma, alazlanma, erime, kömürleşme ve içten yanma dâhil olmak üzere yangın;
- İtfaiye masrafları dâhil olmak üzere dava ve say masrafları;
- Dolu, rüzgâr, fırtına, kar basıncı ve donma gibi normal doğa olayları;
- Yıldırım veya yıldırımın voltaj yükselmesi ve/veya ani akıma sebep olması;
- Patlama;
- Hırsızlık, vandallık ve sabotaj gibi üçüncü tarafların kötü niyetli eylemleri;
- Kullanım hataları, dikkatsizlik ve ihmalkârlık;
- Nem ve su;
- Hayvanların çiğnemesi veya ısırması sebebiyle kabloların hasar görmesi gibi

hallerde hasar görmüş FV paneller veya ilgili donanımı faal duruma geri döndürmek için onarım masrafları karşılanabilir. Buna, hasarlı donanımı yenisiyle değiştirme, işçilik ve ulaşım

masrafları da dahil edilir. İşin kesintiye uğraması ile gelir kaybı oluşacaktır. Sigorta süresince, sorun giderilene kadar söz konusu olan gelir kaybı tazmin edilir. Gelir kaybı, kapasite faktörü (yıllık enerji üretimi) çarpı fiyat faktörü (tarife garantisi ve/veya vergi indirimleri veya benzer teşvikler dâhil olmak üzere kWh başına toplam gelir) şeklinde hesaplanır [77].

4. IĞDIR'IN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Güneş enerjisinin zaman boyutundaki sayısal büyüklüğünün söylenebilmesi için tahmin yöntemleri, uydudan uzaktan erişim, coğrafi bilgi sistemleri, modelleme, hesaplama ve doğrudan ölçüm yöntemlerinden en az birisine ihtiyaç vardır. Tartışılmaz bir gerçektir ki hiçbir tahmin yöntemi gerçek ölçümlerin yerini tutamayacaktır. Ölçüm haricinde geliştirilen yöntemler, gözlem ve ölçümün doğrudan yapılamayacağı şartlarda bilgi ihtiyacını karşılamaya yöneliktir. Tüm tahmin yöntemleri ya istatistiki hesaplamalar gibi eski ölçümlere, ya Angström formülasyonu gibi anlık fakat farklı bir değişkene ait ölçüme, ya uydu verilerinin gerçek ölçümlerle sağlaması yapılmış görüntü işleme tekniklerine ya da coğrafi bilgi sistemleri gibi önceden tanımlanmış algoritmalara dayanmaktadır.

DMT (Dünya Meteoroloji Teşkilatı) 8 sayılı rehberinde meteorolojik değişkenleri, ölçüm yöntemlerini, ölçüm aralığını, birimleri ve kullanılacak hesaplamaları tarif etmiştir. Güneşlenme ölçümleri kapsamında meteorolojik olarak güneşlenme süresi, doğrudan ışıma, yayınık ışıma, albedo (aklık) ve toplam güneş ışıması değişkenlerinin ölçülmesini salık vermiştir. Tüm bu ışıma ölçümleri yer yüzeyine paralel bir düzleme gelen güneş ışınım/ışıma (irradiance/irradiation) şiddetini ölçme ilkesine dayanmaktadır. Toplam güneş ışıması değişkeni güneşten hiç bir engele maruz kalmadan gelen doğrudan ışıma ve atmosferde muhtelif unsurlarca yansıyan yayınık ışımanın bir toplamıdır. Yatay yüzey kastedildiği için yeryüzünden tekrar gökyüzüne yansıtılan albedo ışıması bu toplam içerisinde yer almaz.

Güneşlenme süresinin doğrudan ölçümü küresel bir cihaz olan helyograflar vasıtasıyla, güneşin, üzerinde saat aralıkları bulunan grafik kağıdına, cam küre mercekle odaklanması sonucunda yakmasıyla ölçülmektedir (Şekil 4-1). Işıma yani radyasyon ölçümleri ise genel anlamda radyometre denen ışınölçerlerle yapılır. Mekanik olarak çalışan ışınölçerlere aktinometre veya kayıt edicili anlamında, aktinograf (Şekil 4-2); elektronik olarak çalışanına ise piranometre (Şekil 4-3) veya pirhelyometre isimleri verilir. Mekanik aktinograflar cal/cm^2-dakika cinsinden enerji ölçümü yaparken, elektronik radyometreler W/m^2 cinsinden güneş ışıma şiddetini birim alana gelen ışıma gücü olarak ölçerler. Yine DMT'nın tavsiyesi doğrultusunda en az 120 W/m^2 ışıma gücünün ölçülebildiği an, güneşlenme gerçekleşmiş kabulü yapılır ve bu şiddetin görüldüğü zaman aralığı sayılarak günlük güneşlenme süresi dakika veya saat olarak ifade edilir. Piranometre her ne kadar toplam güneş ışımasını ölçüyor olsa da, doğrudan güneş ışımasını sürekli engelleyecek bir çember ile çevrilen piranometreler sadece yayınık ışımayı ölçerler ve pirhelyometre olarak adlandırılırlar.

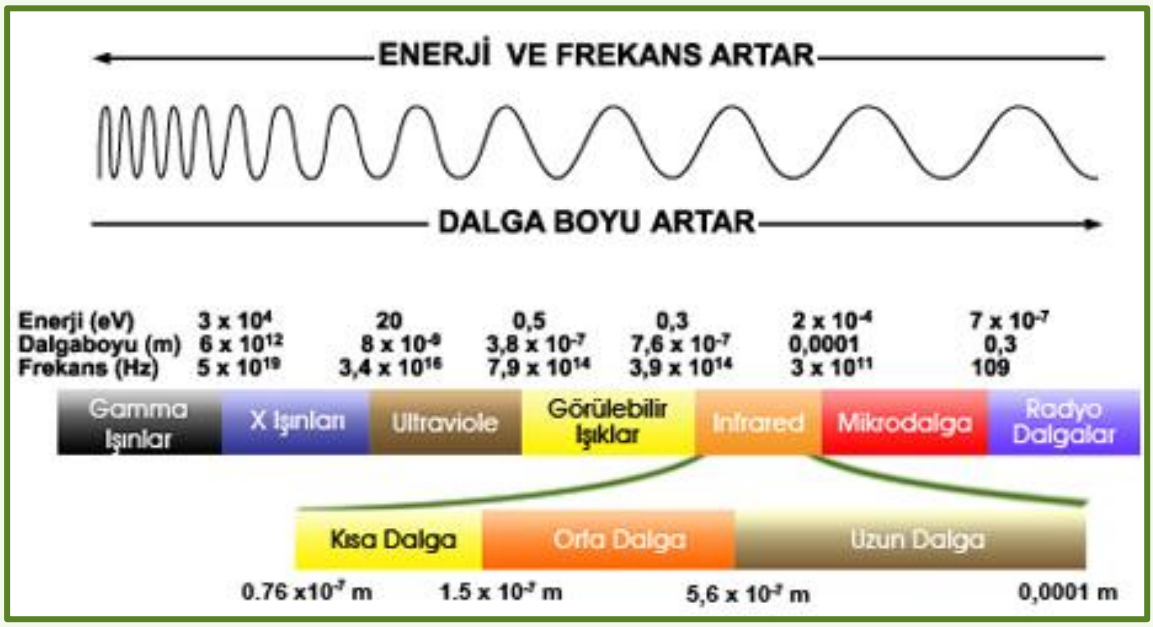
Şekil 4-1 Dr. Alfred Müller Helyograf [78]

Şekil 4-2 Dr. Alfred Müller Aktinograf [78]

Şekil 4-3 Kipp&Zonen CM11 Piranometre [78]

Ülkemizde güneşlenme süresi ve güneş ışıması ölçüm ve rasatları 1936 yılında yapılmaya başlanmıştır [79]. Meteoroloji istasyonlarında düzenli olarak güneş ışıması, güneşlenme süresi ve bulut kapalılığı gözlem ve ölçümleri yapılmaktadır. Bu rasatlarla birlikte geçmişte gözlemi ve ölçümü yapılan bulanıklık (turbidity) verisi rasatlarını, DMT yeterli doğrulukta bulmadığı için, daha doğru bir yöntem veya ölçüm tekniği geliştirilene kadar durdurmuştur [80].

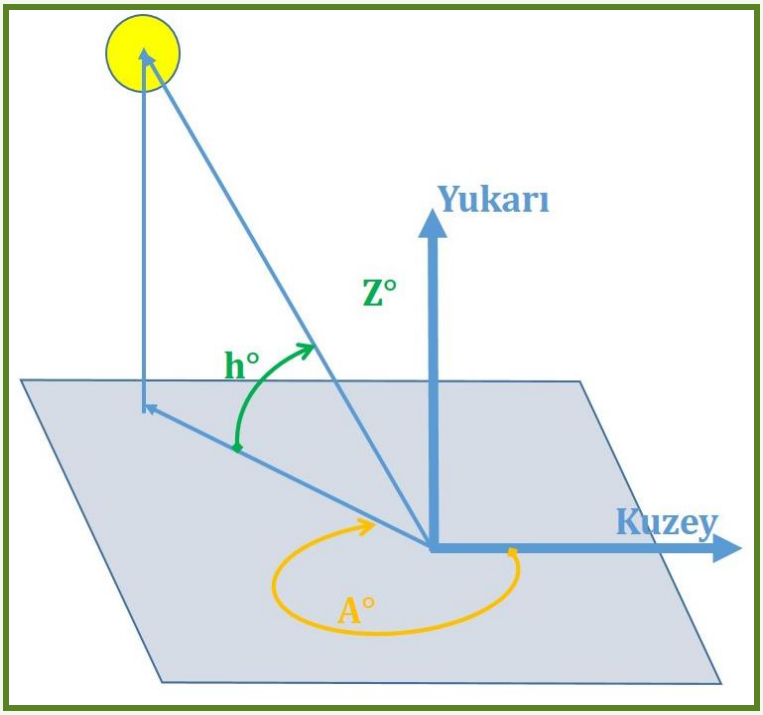
Herhangi bir noktadaki güneş enerjisi potansiyeli, aklık dahil, genel olarak yüzeyin tipi, yüzeyin güneşe olan geometrik açısal durumu, güneş ışımasının tayfsal (spectral) dağılımı gibi topografik ve morfolojik etkenlere bağlıdır [81]. Güneş tayfı (Şekil 4-4), mutlak hava kütlesi (absolute air mass), yoğuşabilir su içeriği (precipitable water content), bulanıklık, bulutlar, atmosferdeki partiküllerin dağılımı, partiküllerin cinsi ve yerden yansıma gibi faktörlerden etkilenir [82].



Şekil 4-4 Elektromanyetik tayf

Yeryüzünün herhangi bir noktasında, yılın herhangi bir günü ve günün herhangi bir zamanında güneşin gökyüzündeki yerini söyleyebilmek için yön (azimuth, A), yükseklik (altitude, α) ve geliş açısı (zenit, z) değerlerini bilmek gerekir (Şekil 4-5). Pusula derecelendirmesinden ayrı olarak güneş yolunu hesaplarken güney 0° kabul edilir. Doğuya gidiş "+", batıya gidiş "–" derecelerle ifade edilmektedir. Yükseklik açısı ise güneşin dünya üzerinde düz bir yüzeyde ufka olan açısıdır ve güneşin doğuş ve batış anında 0°'dir. FV sistemlerin kurulumunda gölgeleme etkisini hesaplamak için bu zaman boyutundaki açısal değerlerden faydalanılır. Güneşin tam güney doğrultulu ve gün içerisinde gökyüzünde en yüksek noktada olduğu güneş öğlesi (solar noon) ise sanıldığının aksine 12:00 değil, yerel olarak güneş doğuş ve batış zamanlarının tam orta noktasıdır [68]. Bu açılara ek olarak, saat açısından bahsedilebilir. Güneş doğudan batıya doğru 15 derece/saat (360 derece/gün) hızla hareket etmektedir. Güneş öğlesinde saat açısı 0 derecedir ve o gün için gökyüzündeki en

yüksek noktadadır. Bir başka deyişle, öğleden önce saat ve azimut açıları eksi değerliklidir. Güneşin ekvatora yaptığı deklinasyon açısından daha çok uzay araştırmalarında faydalanılır. 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde Güneş öğlesinde ekvator üzerine güneşin dik geldiği an, deklinasyon açısı 0'dır.



Şekil 4-5 Yön (A), yükseklik (h) ve geliş (z) açılarının gösterimi

Atmosfer Yoğunluğu, havanın bulunulan bölgedeki yoğunluğunu ifade eder. Deniz seviyesinde 15 °C sıcaklıkta hava yoğunluğu 1,225 kg/m^3 değerindedir. Yükseklik ve sıcaklıkla ters orantılıdır. Yükseklik ve sıcaklık arttıkça bu değer düşer. Yüksekliğin ve sıcaklığın artmasıyla düşen hava yoğunluğu nedeniyle güneş ışınlarının atmosferde geçtiği hava miktarı azalır ve bu nedenle ışıma değerleri artar (Tablo 4-1).

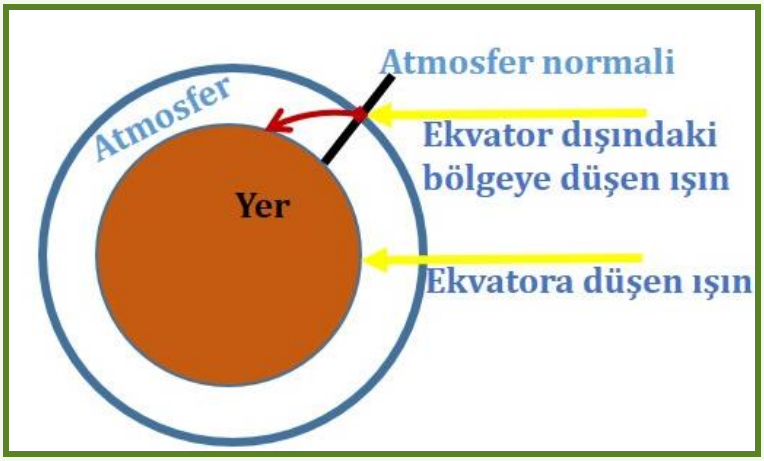
Tablo 4-1 15 °C sıcaklıkta bazı yükseklik değerlerine ait hava basıncı ve yoğunluğu

Yükseklik, m	Basınç, MiliBar	Hava yoğunluğu, kg/m^3
0	1013	1,225
500	942	1,115
1000	888	1,088
1500	837	1,026
2000	789	0,955

Atmosfer Kütle Yoğunluğu ise güneş ışınlarının atmosfer içinde geçtiği hava kütlesinin, ışınların atmosfere tam dik girmesi halinde geçtiği hava kütlesine oranıdır. Ekvatorda Deklinasyon açısının 0 olduğu tarihlerde yerel saatle 12:00'da güneş ışınları atmosfer teğetine tam dik olarak girerler. Bu durumda ışınların geçtiği hava kütle yoğunluğu 1 (bir) olarak kabul edilir. Ekvatordan uzaklaştıkça bu değer büyür. Ayrıca belirlenen saat dışında da hava kütle

yoğunluğu 1'in üzerine çıkar. Atmosfer Kütle Yoğunluğu deklinasyon, azimut ve zenit açılarının fonksiyonu olarak değişir.

Atmosferin üst katmanları alt katmanlarına oranla daha az yoğundur. Güneş ışınları atmosfer içinde ilerlerken giderek, daha yoğun hava katmanlarından geçerler. Bu nedenle atmosferin kırılma indisi yoğunluğuna bağlı olarak giderek artar. Eğer güneş ışınları atmosfere dik olarak girmiyorlarsa bunun sonucunda güneş ışınları atmosfer içinde ilerlerken normale giderek yaklaşırlar ve böylece ışınlar doğrusal değil eğrisel yol izlerler (Şekil 4-6).



Şekil 4-6 Işınların atmosferde izlediği Yol

Rakım ışıma üzerinde doğru orantılı etki yapar. Yükseklik arttıkça ışıma şiddeti artar. Bunun nedeni yüksekliğin artmasıyla atmosfer yoğunluğunun azalması ve sonuçta atmosferin soğurduğu ışıma miktarının düşmesidir. Ancak yayılan ışıma üzerinde daha karmaşık bir etki gösterir. Yükseklik arttıkça hava yoğunluğu düşer ve atmosferin daha az ışıma soğurması sonucu yayılan ışıma artar.

Sıcaklık artması basit olarak tıpkı yüksekliğin artması gibi atmosfer yoğunluğunun azalmasına neden olur ve ışıma üzerinde yükseklik artışı gibi etkiye neden olur.

Gökyüzü Açıklık Endeksi gökyüzünün ne denli açık olduğunu gösteren endekstir. Bulutluluk, havadaki nem, partikül, polen miktarı gibi değerler endeksi belirler.

Güneş ışığının yoğunluğu veya birim alana gelen güneş gücü miktarı ışıma veya ışınım (irradiance yada radiant flux) olarak ifade edilir ve birimi W/m^2'dir. Yazın güneşin dik geldiği anda deniz seviyesinde yeryüzüne ulaşan ışıma 1000 W/m^2'dir. Bu ışıma "tam güneş" yada "tepe güneş" olarak adlandırılır ve FV modül değerlendirmesinde ve denemelerinde standart olarak kullanılır [68]. Yer yüzeyine gelen küresel güneş ışıması (global solar radiation) ile dünya dışı güneş ışıması (extraterrestrial radiation) arasındaki ilişki atmosferik şeffaflık (transparency) ölçütünü verir ve **berraklık indeksi** (clearness index) olarak adlandırılır. Berraklık indeksi sadece güneş ışımasının atmosferde kat ettiği, hava kütlesi (air mass) olarak tanımlanan fiziksel yolla ilgili değil, aynı zamanda atmosferin gaz bileşimi ve bulutluluğuyla da ilgilidir. Bir yerin güneş iklimini doğru karakterize edebilmek için berraklık indeksinden

yararlanılır. Bu özellik eğimi belli bir yüzeye muhtemel gelecek güneş ışıması tahminine temel teşkil etmektedir. FV modüller yatay düzleme belli bir açıyla yerleştirildikleri için modül yüzeyine gelecek ışıma meteorolojik ölçümlerin hesaplamaya tabi tutulmasıyla elde edilir [67].

Güneş enerjisinden yüksek verimli faydalanabilmek için belirtilen yeri ve zaman aralığını temsil edecek doğru ve uygun güneş enerjisi bilgisine ihtiyaç vardır. Geçmiş döneme ait uzun süreli günlük ve hatta saatlik bazdaki güneş ışıması ölçümlerinden elde edilen ortalamalar FV sistem tasarımında uzun dönem için doğru bir öngörü sağlar. FV güneş elektriği üretim sistemlerinin boyutlandırılmasında, enerji üretim tahmininde, gölgeleme etkisinin belirlenmesinde, eğim açısı optimizasyonunda da bu saatlik veya günlük güneş ışıması ölçümleri esas teşkil etmektedir [67]. Her güneş enerjisi uygulaması, kendine has güneş ışıması elemanının ölçüm ve bilgisinden yararlanır. Bu elemanların en kabul görmüşleri şunlardır:

- Aylık olarak günlük güneşlenme süresi ortalaması ve yıl içerisindeki seyri.
- Aylık olarak günlük küresel toplam güneş ışıması ortalaması ve yıl içerisindeki seyri.
- Aylık olarak günlük yayınık güneş ışıması ortalaması ve yıl içerisindeki seyri.
- Aylık olarak günlük doğrudan güneş ışıması ortalaması ve yıl içerisindeki seyri [80].

Güneş enerjisi potansiyelinden kapsamlı şekilde söz edebilmek için teorik, saha, teknik ve ekonomik potansiyellerini incelemek gerekir. **Teorik güneş enerjisi potansiyeli** dünya üzerindeki bir noktanın enlem ve boylamına, yılın gününe ve günün saatine bağlı olarak değişir. Işınımsal akış yeryüzüne ulaşana kadar atmosferde maruz kaldığı yansıma, saçılma ve emilmelerden dolayı kayıplara uğrar. **Saha Potansiyeli**, meteorolojik potansiyele dayanılarak ortaya konulan bir değerlendirmedir. Güç üretimi için coğrafik olarak mevcut olabilecek sahalarla sınırlandırılır. **Teknik Potansiyel**, mevcut teknolojiyi de dikkate alarak saha potansiyelinden hesaplanan değerlerdir. **Ekonomik Potansiyel**, ekonomik olarak gerçekleştirilebilecek teknik potansiyel olarak tanımlanır. **Uygulanabilir Potansiyel**, belirli bir zaman diliminde devreye alınabilecek olan yenilenebilir enerji potansiyelini değerlendirmek için teşvik ve kısıtları da hesaba katarak elde edilir. Gelen ışımanın yansıtılarak uzaya tekrar gönderilen kısmına albedo denir. Küresel ortalaması yaklaşık % 30-35 oranındadır [81]. Teorik güneş enerjisi potansiyeli, arazi kullanım kısıtları, dönüşüm verimliliği, depolama gereksinimi gibi konulardan bağımsızdır [67].

Coğrafik veya bölgesel potansiyel olarak da bilinen saha güneş enerjisi potansiyeli, yerel koşullara göre FV sistem kurulumuna uygun karasal yüzey üzerine gelen yıllık güneş ışımasını "kWh/yıl" birimiyle ifade eder. Teknik güneş enerjisi potansiyeli, güneş enerjisinin saha potansiyelinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi sırasında oluşan kayıplardan sonraki halini "kWh/yıl" birimiyle yıllık olarak verir. Ekonomik güneş enerjisi potansiyeli ise güneş enerjisinin teknik potansiyelinin, mevcut yatırım ve işletim durumları gözetilerek ekonomik olarak elektrik enerjisi üretilebilecek kısmı için kullanılır. Ayrıca, ekonomik güneş enerjisi potansiyelinin büyük kısmını oluşturan yatırım finansmanı, altyapı, estetik kaygılar, mevzuat

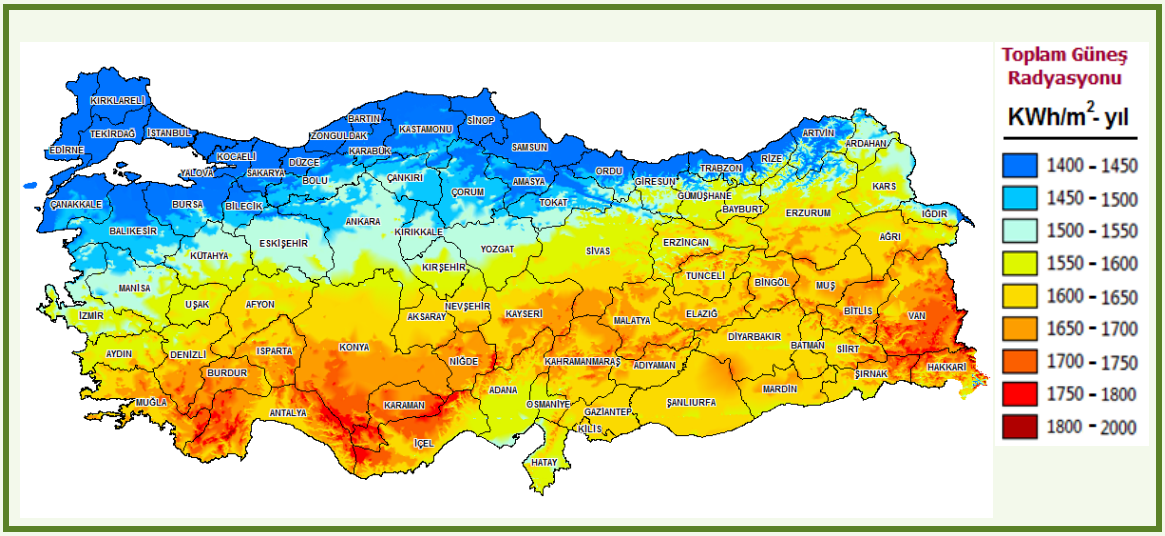
desteği ve kısıtlardan ibaret olan bir uygulama güneş enerjisi potansiyelinden de bahsedilebilir [83].

Güneşin ışık, ısı ve mekanik bir enerji kaynağı olması sebebiyle güneş enerjisi tabiri, dolayısıyla güneş enerjisi potansiyeli ifadesi oldukça geniş manada kullanılmaktadır. Yukarıda özetlendiği üzere, güneş enerjisi potansiyeli kavramı farklı amaçlar için farklı yöntemler ve detaylarda farklı araçlar ve birimlerle ifade edilebilmektedir. Bu çalışmanın gayesi doğrultusunda FV yöntemle güneşten elektrik üretim enerjisi ve potansiyeline odaklanılmıştır. Türkiye'nin ilk güneş enerjisi potansiyeli çalışması 1983 tarihlidir ve FV güneş elektriğinden ziyade ısıl (termal) yöntemle güneşten enerji sağlamaya yöneliktir. Piyasaya yön verme ciddiyetinden uzak, daha küçük çaplı hedefler güdülerek yapılmış çalışmalar da mevcuttur. En derli toplu yerel çalışma ise GEPA'dır. Ayrıca ülkemizi de içerisine alan kıtasal çapta daha çok uzaktan algılama teknikleri kullanılarak hazırlanmış çalışmalar da mevcuttur. Burada farklı kaynak ve yöntemle geliştirilmiş bu çalışmaların çıktıları edinilmiş ve Iğdır özelinde bir potansiyel kanaati oluşturulmaya çalışılmıştır. FV güneş elektriği potansiyeline yönelik politik karar vericiler için ulusal boyutta; yatırımcı ve girişimciler için de iller bazında dikkate değer bir boşluk olduğu açıktır. Ulusal ve uluslararası çalışmalar tek tek irdelenerek ve Iğdır için sonuçları alınarak, bölge ilgililerine FV güneş elektrik potansiyeli hakkında bir kanaat oluşturulmaya çalışılmıştır.

4.1. GEPA ile Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemizin genel güneş enerjisi potansiyel çalışmaları eski adıyla Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) yeni adıyla Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından muhtelif zamanlarda yürütülmüştür. Bu çalışmalara veri desteği ise meteorolojik anlamda ölçüm ve gözlem yapma yetki ve sorumluluğu üzerinde bulunan şimdiki adıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce (MGM) sağlanmıştır. İlk kayda değer çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DMİ) 1968-1982 yılları güneşlenme verileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonucu 2 ayrı rapor halinde yayınlanmış olup, bu değerlendirmede ülkemizin yıllık ortalama güneş ışıması 3,6 kWh/m^2-gün ve yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat olduğu belirlenmiştir (*30 yıldan fazladır güneşlenme süresi için bu değer kullanılmaktadır! Dr.LY*). Bu çalışmanın sonucunda elde edilen değerlerin güneş enerjisi değerlendirme çalışmaları açısından yeterli olmadığı görülerek, güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla yeni bir proje, EİE-DMİ işbirliği ile başlatılmıştır. Bu proje kapsamında, 5 adet güneş gözlem istasyonu, 5 yıl süreyle çeşitli illere tesis edilmektedir. Toplanan veriler; yatay düzlemde toplam ve difüz güneş ışıması, güneşlenme süresi ve çevre sıcaklığıdır. Bu proje kapsamında şu ana kadar 13 istasyon yerleştirilmiştir, bunlardan 7'sinde ölçümler sona ermiştir. Bu istasyonlardan alınan ölçümlerden yararlanarak ve DMİ'nin verileri de kullanılarak bir model geliştirilmiş, 58 il için güneş ışıması ve güneşlenme süreleri hesaplanmıştır. "**Türkiye'nin Güneş Işınımı ve Güneşlenme Süreleri**" adlı bu rapor 2001 yılında yayınlanmış ve ilgilenenler için satışa sunulmuştur [84].

Türkiye için genel bir fikir veren ancak yatırımları yönlendirmek için yetersiz olduğu düşünülen 2001 tarihli bu çalışmayı yine YEGM tarafından geliştirilen Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) takip etmiştir (Şekil 4-7). Uluslararasında kanıtlanmış bir model olan "ESRI Güneş Radyasyon Modeli" kullanılarak elde edilen güneş kaynak bilgileri ile güneş kaynak alanları kolaylıkla görülebilmekte, bu amaca yönelik ön fizibilite çalışmaları yapılabilmekte ve güneş kaynak alanı arama amacıyla yapılan çalışmalar ortadan kaldırılarak zaman ve ekonomik tasarruf sağlanmaktadır. ESRI Güneş Radyasyon Modeli, Türkiye geneli için 500 x 500 metrelik çözünürlükte çalıştırılmış ve toplam 3.120.000 adet grid oluşturularak her bir grid için güneş kaynak bilgileri hesaplanmış ve sonrasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanılarak elde edilen bilgiler haritalandırılmıştır. GEPA'nın hazırlanmasında noktasal bazda ortalama **% ± 10 hata payı** ile bilgi üretilmiş ve bu bilgiler DMİ'nin 148 adet ve EİE'nin 8 adet uzun dönemli güneş ölçüm verileri ile doğrulanmış ve kalibre edilmiştir. GEPA 2010 yılında basılarak satışa sunulmuştur [84].



Şekil 4-7 YEGM Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)

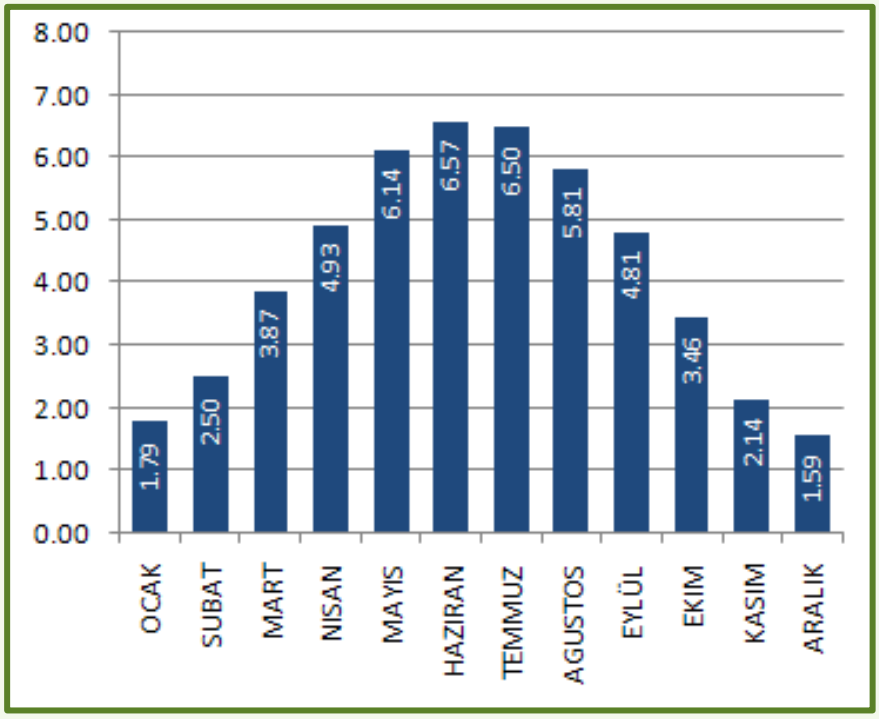
YEGM'nin yukarıdaki açıklamalarla duyurduğu çalışmaların en güncel ve halihazırda aktif olanı GEPA'dır. Her ne kadar iller bazında güneş enerjisi potansiyelini kWh/m²-yıl cinsinden ortaya koysa da, hazırlanış tarzıyla bir ulusal projedir [3]. GEPA'nın oluşturulmasında yararlanılan ESRI modeli, belirli bir alana belirli zamanlarda gelen güneş radyasyonunu o alana ilişkin topoğrafik ve iklim verilerini dikkate alarak hesaplayabilmektedir. Bu model için:

- Türkiye 500 m X 500 m grid (ızgara) haritası ve 90 metre hassasiyette yükseklik modeli kullanılmıştır.
- Gökyüzü görüş haritası 200 X 200 metrelik sektörleri içermektedir.
- Zaman aralığı hassasiyeti 1 saattir; 16 adet azimut yönü, 8 adet Zenit ve Azimut açısı belirlenmiştir.
- 156 adet DMİ ve EİE Ölçüm istasyonunun 1985-2006 yılları arasındaki günlük güneşlenme şiddetlerinden yararlanılmıştır (*bunlar aktinograf ölçümleridir, Dr.LY*).

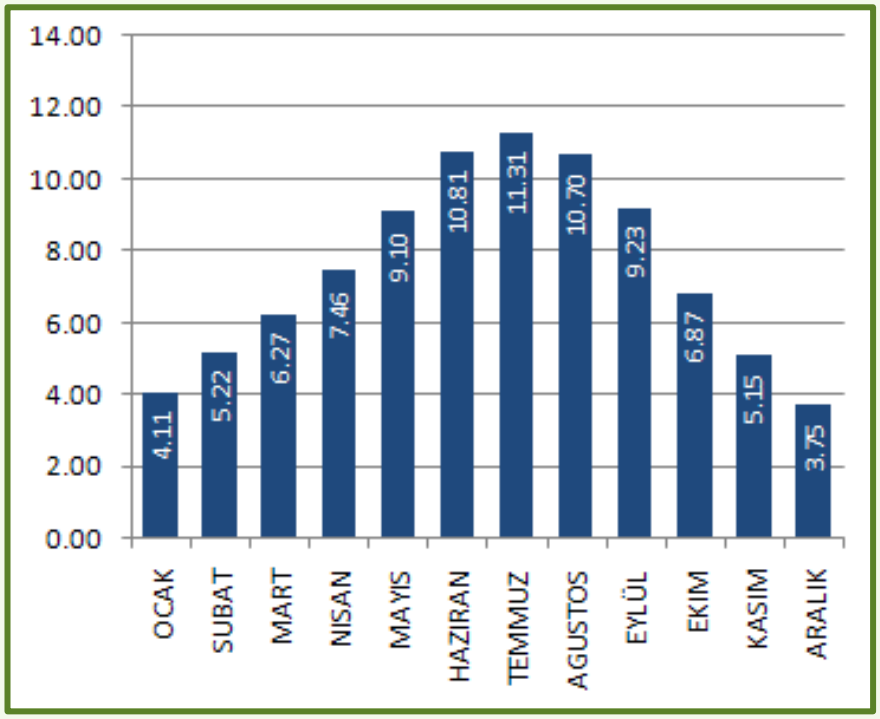
- Günlük güneşlenme süreleri, maksimum ve minimum sıcaklık; 07:00 - 14:00 ve 21:00 saatlerindeki nem ölçümleri meteorolojik veri olarak yararlanılmıştır (*bunlar iklimsel amaçlı mekanik cihaz ölçümleridir, Dr.LY*).
- Model çıktıları Co-kriging yöntemi ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyonda DMİ ve EİE ölçüm istasyonlarının verilerinin yanı sıra, özellikle ölçüm istasyonlarının seyrek olduğu alanlar için Avrupa Güneş Haritasından alınan 405 adet noktaya ait değer kullanılmıştır.
- Hata payları genel olarak % 2-15 arasında olup yaklaşık hata payı ortalaması % 10'dur.
- Yer Albedosu da, ayrıca dikkate alınmış, direk ve difüz radyasyon değerlerine ilave edilerek toplam radyasyon değerleri bulunmuştur (*Küresel toplam radyasyon direk ve difüz radyasyondan oluşur, Dr.LY*).

Modelin çalıştırılması sonucunda 2008 yılında, 12 aya ait günlük değerlerden elde edilen aylık ortalamaları içeren bilgiler 500 m x 500 m çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) grid haritası GEPA elde edilmiştir.

Buna göre Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi elektrik üretimi teknik potansiyeli 380 milyar kWh olarak belirtilmiştir. Bu potansiyel güneş radyasyonu yıllık metrekare başına 1650 kWh'den fazla olan 4.600 km^2 kullanılabilir alan alınarak hesaplanmıştır. Bir diğer hesaplamaya göre ise Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi teknik potansiyeli yaklaşık 405 milyar kWh (DNI> 1800 kWh/m^2-yıl) ve ekonomik potansiyeli yaklaşık 131 milyar kWh (DNI> 2000 kWh/m^2-yıl)'dır. Potansiyelin en yüksek olacağı ay 6,57 kWh/m^2-gün ile Haziran iken en düşük olacağı ay 1,59 kWh/m^2-gün ile Aralık'tır (Şekil 4-8). Güneşlenme süresi açısından da 11,31 saat ile Temmuz ayı en yüksek iken 3,75 saat ile Aralık ayı en düşüktür (Şekil 4-9).



Şekil 4-8 GEPA ay içerisindeki bir günlük toplam güneş radyasyonu



Şekil 4-9 Ay içerisindeki bir günlük toplam güneşlenme süresi

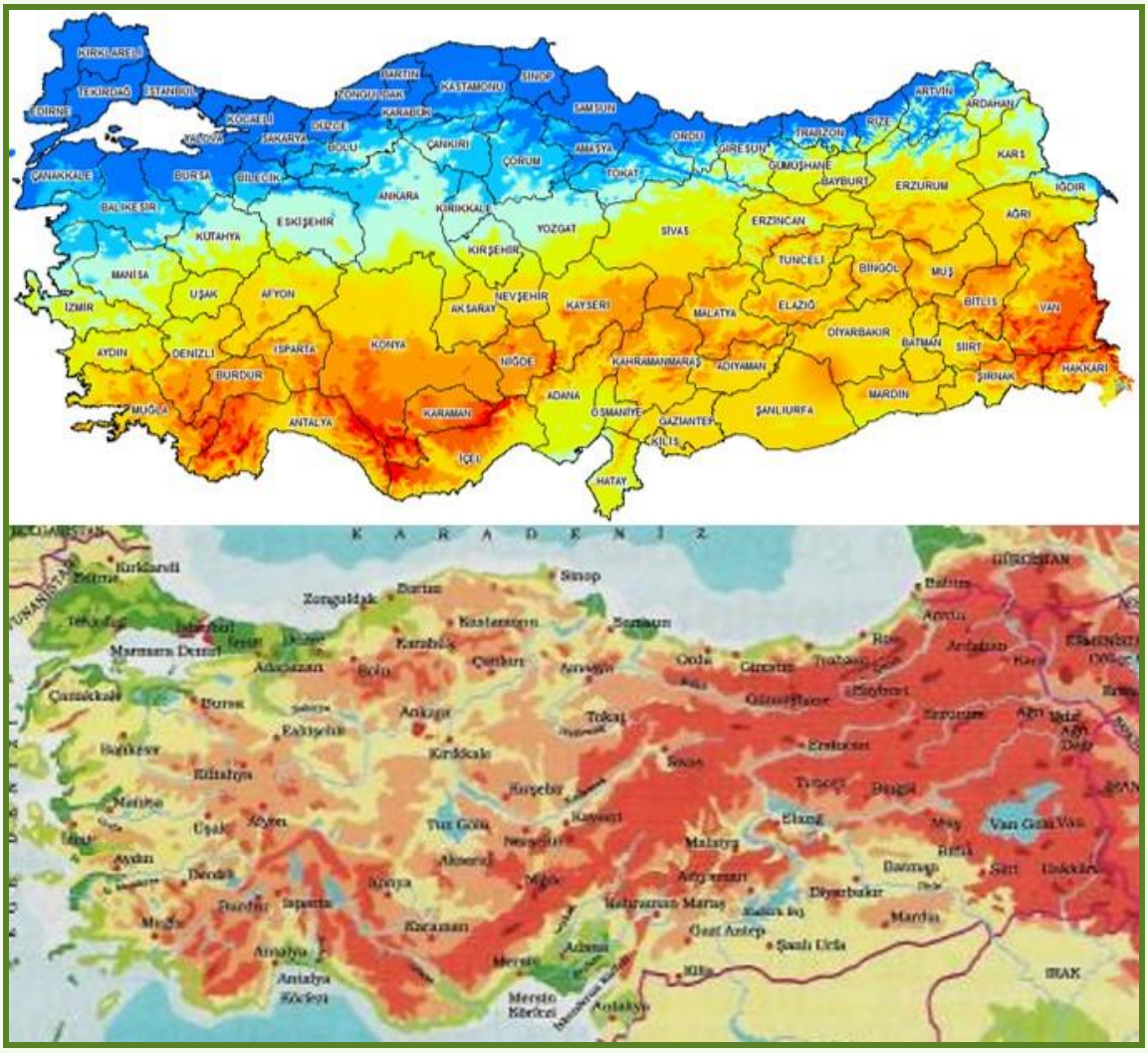
Fizik Mühendisleri Odası'nın 18 OCAK 2013 tarihli toplantısında açıklandığı üzere GEPA'nın güneş kaynak bilgileri enerji şirketleri, iş dünyası, arazi ve konut sahipleri gibi geniş bir kullanıcı kitlesinin güvenilir bir kılavuzu olmayı hedeflemesinden dolayı geliştirilmesine, daha hassas ve daha kapsamlı hale getirilmesine ihtiyaç vardır.

GEPA'nın daha yüksek çözünürlüklü ve daha güncel veriler ile tekrar modifiye edilmesi için bir proje hazırlanması düşünülmüştür. Bu projeye göre güneş santral kurulumuyla ilgili tüm fiziksel, coğrafi, tarımsal, stratejik, askeri, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörlerin tespiti için TEİAŞ, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Milli Emlak Genel Müdürlüğü, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü, Milli Savunma Bakanlığı, Kültür ve Turizm Bakanlığı gibi kamu kurum ve kuruluşlarından sayısal veri kaynağı temin edilmelidir. Ayrıca coğrafi bilgi sisteminde amaca uygun bir veri modeli tasarlanması gerektiği kamuoyu ile paylaşılmış ve "Türkiye Güneş Enerjisi Dinamik Tekno-Ekonomik Modeli" ismiyle bir KAMAG projesi olarak sunulmuştur [85].

4.2. GEPA ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli

GEPA ulusal boyutta incelendiğinde görülecektir ki Türkiye'nin Güneydoğu ucu ile Güneybatı kesimleri bordoya yakın bir kırmızı, yani potansiyelin en yüksek olduğu yerler; Kuzey ve Kuzeybatı kesimleri de laciverte yakın bir mavi yani potansiyelin en düşük olduğu yerlerdir. Enlem dereceleri de göz önünde bulundurulduğunda kabaca Güneydoğudan Kuzeybatıya doğru bordodan laciverte bir değişim söz konusudur (Şekil 4-10 ve Şekil 4-7). Bir CBS model çıktısı olan (Şekil 4-7) GEPA'yı üreten algoritma rakım yükseldikçe atmosfer tabaka

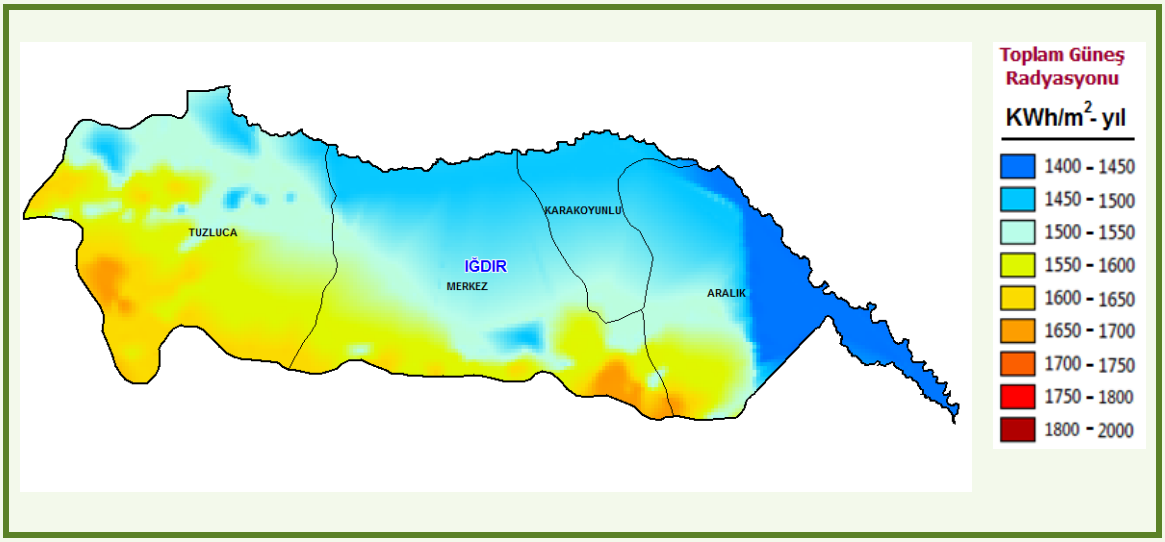
kalınlığının azalacağı dolayısıyla doğrudan güneş ışımasının (direct radiation) atmosferde kat edeceği yolun kısalacağı varsayımıyla çalışmaktadır. Bunun yanında üst seviyelerden deniz seviyesine yaklaştıkça atmosfer yoğunluğunun artması sebebiyle düşük rakımlarda atmosferin güneş ışınlarını emme, sıçratma ve yayma özelliğinin artacağı da bilimsel bir kabuldür. Nasıl ki rakımın azalmasıyla tabakanın kalınlaşması ve kat edilen yolun uzayacağı ve güneş ışınlarının FV paneller üzerine erişiminde bir kısıtlama olacağı teknik olarak doğru ve güneş enerjisi potansiyelini düşürücü bir unsur ise; atmosfer yoğunluğunun artmasıyla (partikül oranında artış) yayılan (sıçrama ve yansıma) ışımada (distributed radiation) bir artış olacağı da doğrudur. Bilimsel olarak kompleks bir durum söz konusudur. Rakımdaki bu değişikliğin tek başına artı veya eksi etki göstereceğine yönelik bir çıkarımda bulunmak yanıltıcı olabilir.



Şekil 4-10 Türkiye haritasında denizden yükseklik artışı ile güneş enerjisi potansiyel artışı ilişkisi

Nitekim harita üzerinde Iğdır gibi mikro-klima bölgesi olduğu bilinen ve denizden yüksekliği yalnızca 850 m'lerde olan bir bölge için GEPA'da hesaplanan güneş enerjisi potansiyeli gerçek değerlerden çok düşük görünmektedir. Denizden yüksekliği 2000 m'ler ve daha yukarısında olan Van-Hakkari ile Orta Toroslar bölgeleri yalnızca güney enlemlerinde ve yüksek rakımda

olmalarından dolayı güneş enerjisi potansiyelleri en yüksek olarak değerlendirilmişlerdir. Oysa bu bölgeler yılın 6 ayı yoğun kar yağışına ve bulutluluğa maruz kalmaktadırlar. Iğdır ise Türkiye'nin en az yağış alan (256 mm/yıl) ve en az bulutluluğa maruz kalan, kışı neredeyse kar yağışsız geçiren bir mikro-klima bölgesi olmasına rağmen neredeyse Karadeniz bölgesine eş değer bir potansiyel hesaplamasıyla karşı karşıya kalmaktadır (Bkz.B:2.2). Iğdır il sınırları içerisinde bile bu ayrım rakıma bağlı olarak izlenebilir. Aras nehrinin yatağını içeren Aralık ilçesindeki Ermenistan sınırı boyunca, rakımın en düşük olduğu bölgelerde, neredeyse yıllık güneş radyasyonu 1400 kWh/m²'ye kadar düşerek Türkiye için belirlenmiş skalanın en alt eşiğine tekabül etmektedir. Dağlık kesimin başladığı Batıdaki Tuzluca bölgesinde ise denizden yükseklik arttıkça güneş radyasyon değerleri 1650 kWh/m²-yıl'ın üzerine çıkmaktadır. Bir uçtan bir uca 100 km mesafe olan bu iki ilçe arasında güneş ışınlarının bu kadar değişkenlik göstermesi dikkate değerdir (Şekil 4-11).

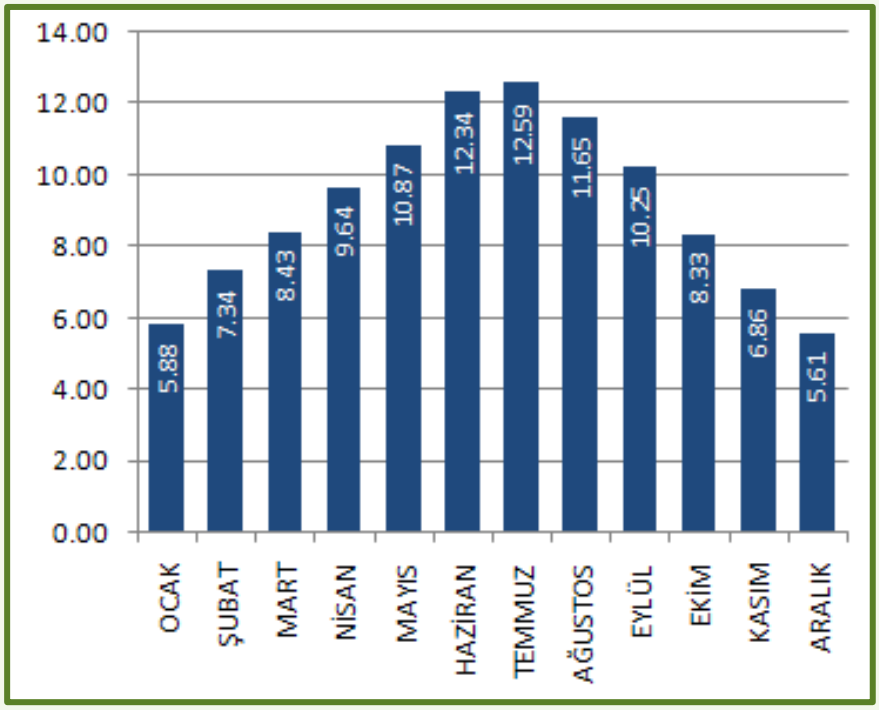


Şekil 4-11 GEPA Iğdır güneş enerjisi potansiyeli

GEPA'dan güneşlenme süresi günlükleri aylık olarak hesaplandığında Hakkari'nin (3430 saat/yıl) ardından 3350 saat/yıl ile Türkiye'nin en çok güneşlenme süresine sahip 2. İli olduğu ortaya çıkmaktadır (Tablo 4-2). GEPA gösterimleri sayesinde Türkiye'nin FV güneş elektriği yatırımlarında hem lisanslı hem lisanssız en çok rağbet gören iki ilinden Karaman (3017 saat) 10. sırada, Konya (2908 saat) ise 23. sırada yer almaktadır. Güneşlenmenin en az olduğu Aralık ve Ocak aylarında bile yaklaşık 6 saat/gün'lük bir süre olması bulutluluk ve atmosfer geçirgenliğinin ne kadar az olduğunun bir göstergesidir (Şekil 4-12).

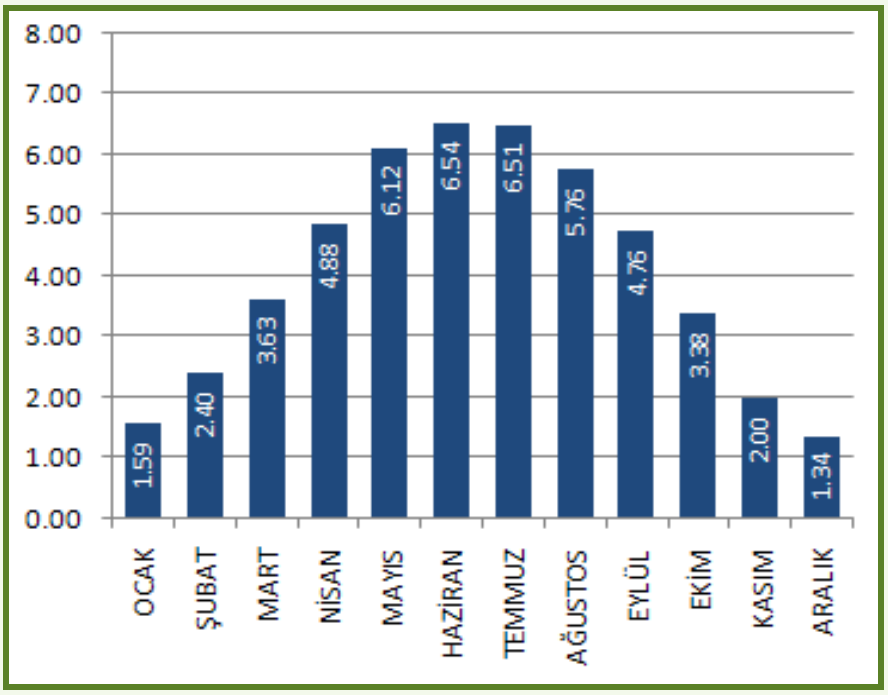
Tablo 4-2 GEPA aylık ve yıllık güneşlenme süresi (saat) en yüksek 10 il

İl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Hakkari	206	237	277	299	351	381	391	367	321	269	133	199	3430
Iğdır	182	213	261	289	337	370	390	361	308	258	206	174	3350
Van	163	186	229	255	313	347	361	340	309	237	185	153	3078
Muğla	159	180	221	245	307	352	369	351	298	243	180	145	3050
Mardin	135	158	209	237	310	376	398	373	302	235	175	137	3045
Şanlıurfa	145	163	215	244	309	367	385	361	303	239	176	136	3044
Mersin	155	175	228	251	308	335	355	342	301	245	185	144	3024
Aydın	160	173	217	243	303	354	375	355	296	238	173	138	3023
Antalya	153	177	224	249	301	347	367	350	294	238	179	141	3020
Karaman	138	170	221	253	305	345	373	356	303	241	179	134	3017



Şekil 4-12 GEPA Iğdır ay bazlı günlük ortalama güneşlenme süreleri, saat

Güneşlenme şiddeti açısından GEPA haritasında Iğdır analiz edildiğinde Ekim-Mart dönemindeki 6 ay boyunca günlük şiddetin 4 kWh/m²'den az olduğu görülmektedir (Şekil 4-13). Özellikle bu dönemde şiddetin beklenilenin altında gözükmesi, ESRI modelinin algoritmasının rakım bazlı çalışma mantığıyla açıklanabilir. Çünkü güneşlenme süresindeki Türkiye ikinciliği şiddet hesaplamasıyla en ufak bir doğru ilişki kurmamızı engellemektedir (Tablo 4-3).



Şekil 4-13 GEPA Iğdır ay bazlı günlük küresel radyasyon (güneş ışıması), 4 kWh/m²

Tablo 4-3 GEPA küresel radyasyon (güneş ışıması) aylık ve yıllık en yüksek 46 il, 4 kWh/m²

Sıra	İl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık	Rakım, m
1	Mardin	59	160	126	152	193	205	205	184	151	118	72	56	1682	1083
2	Karaman	67	78	136	161	200	209	214	191	157	120	76	59	1667	1038
3	Antalya	66	75	135	164	197	208	206	190	155	122	75	60	1653	39
4	Van	59	82	128	154	206	210	222	188	158	113	69	54	1642	1727
5	Burdur	66	74	132	161	197	206	209	189	154	119	74	58	1638	950
6	Mersin	65	77	132	157	195	206	206	188	151	119	74	59	1631	6
7	Niğde	63	77	131	153	197	205	215	188	153	117	72	56	1627	1229
8	Muğla	65	70	131	162	193	204	201	188	152	123	77	58	1624	625
9	Isparta	62	75	130	158	195	204	210	188	153	116	71	56	1618	1035
10	Hakkari	61	81	131	151	202	206	209	185	155	112	70	55	1617	1748
11	Konya	60	74	131	156	195	203	211	188	154	116	71	55	1613	1016
12	Bitlis	58	78	127	155	200	197	217	186	155	115	70	54	1611	1500
13	Kahramanmaraş	62	75	129	153	195	204	210	186	152	117	72	56	1611	568
14	Şırnak	60	76	128	154	195	203	209	184	153	116	73	56	1608	1350
15	Malatya	58	73	128	154	197	205	211	186	153	116	70	54	1606	964
16	Adıyaman	60	73	129	154	193	205	206	185	152	118	72	56	1602	669
17	Bingöl	57	76	125	154	199	206	211	186	152	113	68	51	1598	1151
18	Siirt	59	74	127	153	194	203	208	184	152	117	71	55	1598	902
19	Muş	56	76	124	154	199	205	212	186	153	114	68	51	1598	1404
20	Denizli	62	71	127	158	193	202	205	186	150	116	72	55	1598	354
21	Elazığ	57	72	127	154	196	205	209	186	152	116	69	53	1595	1067
22	Kayseri	60	75	127	151	196	202	213	185	151	112	68	54	1595	1071
23	Şanlıurfa	60	72	127	152	192	205	204	184	151	117	73	56	1592	518
24	Gaziantep	63	72	128	151	190	203	203	184	149	117	72	56	1589	843
25	Tunceli	56	73	126	154	197	205	207	186	152	112	67	51	1586	914
26	Aksaray	59	72	128	151	193	200	210	186	151	113	69	53	1584	900
27	Batman	56	71	125	152	193	203	205	183	151	117	70	55	1582	525
28	Kilis	64	74	127	150	189	203	201	183	148	115	72	56	1582	640
29	Ağrı	54	78	119	153	198	203	210	185	152	111	65	47	1576	1640
30	Adana	61	70	128	149	188	200	200	183	147	117	70	56	1571	23
31	Afyon	57	72	124	153	193	199	208	184	148	109	66	51	1564	1021
32	Nevşehir	58	72	125	149	192	198	208	184	149	110	67	52	1564	1250
33	Aydın	62	67	124	155	187	198	197	184	146	117	71	55	1563	64
34	Osmaniye	61	68	127	149	186	200	199	182	146	118	70	56	1562	150
35	Erzincan	55	74	122	152	197	202	206	184	149	108	64	48	1561	1214
36	Uşak	57	70	122	153	190	197	206	182	145	109	66	51	1547	906
37	Sivas	55	75	121	148	195	199	205	182	146	105	63	50	1544	1285
38	Hatay	62	70	124	146	185	199	196	180	143	113	71	55	1543	85
39	Kars	49	86	110	146	193	195	206	181	145	105	59	41	1517	1768
40	Bayburt	52	84	117	149	196	189	197	182	145	103	59	44	1516	1556
41	Kırşehir	55	69	121	145	189	194	199	181	145	106	62	49	1516	978
42	Gümüşhane	49	81	115	146	193	196	203	180	142	100	58	43	1506	1153
43	İzmir	56	63	117	150	184	195	194	179	139	110	66	50	1503	2
44	Yozgat	55	70	118	144	189	193	199	179	143	103	61	48	1500	1301
45	Kütahya	55	68	116	148	188	194	198	177	141	102	61	47	1496	950
46	Iğdır	49	70	113	146	190	196	202	179	143	105	60	42	1493	860

Türkiye'de denizden yüksekliği 1000 m üzerinde olan 24 il merkezinden 12'sinin (sarı), rakımlarının 1000 m'yi geçmesinin de etkisiyle, GEPA yıllık ışıma değerleri hesaplamasında ilk 24 arasında olduğu görülür. Oysa yine GEPA hesaplamasıyla güneşlenme süresinde ilk 24 il incelendiğinde, rakım sıralamasındaki sadece 5 ilin (yeşil) listede yer alabildiği görülecektir. Yani güneş ışıma değeri ile rakım arasındaki ilişki GEPA'ya göre, güneşlenme süresinden daha kuvvetlidir! Iğdır da güneşlenme süresinde Türkiye'deki 2. il olmasına rağmen rakımının 860 gibi düşük bir kotta olmasından kaynaklı olarak ışıma listesinde ilk 24'te yer alamamaktadır (Tablo 4-4).

Tablo 4-4 Rakımı 1000 m üzerinde olan 24 ilin, ışıma ve güneşlenme süresi açısından ilk 24 il ile karşılaştırması

Sıra	Rakım >1000 m		Işıma ilk 24 sıra, kWh/m2		Güneşlenme süresi ilk 24 sıra, Saat	
1	Erzurum	1890	Mardin	1682	Hakkâri	3430
2	Ardahan	1870	Karaman	1667	Iğdır	3350
3	Kars	1768	Antalya	1653	Van	3078
4	Hakkâri	1748	Van	1642	Muğla	3050
5	Van	1727	Burdur	1638	Mardin	3045
6	Ağrı	1640	Mersin	1631	Şanlıurfa	3044
7	Bayburt	1556	Niğde	1627	Mersin	3024
8	Bitlis	1500	Muğla	1624	Aydın	3023
9	Muş	1404	Isparta	1618	Antalya	3020
10	Şırnak	1350	Hakkâri	1617	Karaman	3017
11	Yozgat	1301	Konya	1613	Hatay	3006
12	Sivas	1285	Bitlis	1611	İzmir	2996
13	Nevşehir	1250	Kahramanmaraş	1611	Gaziantep	2986
14	Niğde	1229	Şırnak	1608	Kilis	2986
15	Erzincan	1214	Malatya	1606	Şırnak	2986
16	Gümüşhane	1153	Adıyaman	1602	Adıyaman	2972
17	Bingöl	1151	Bingöl	1598	Osmaniye	2965
18	Mardin	1083	Siirt	1598	Adana	2965
19	Kayseri	1071	Muş	1598	Burdur	2954
20	Elâzığ	1067	Denizli	1598	Niğde	2940
21	Karaman	1038	Elâzığ	1595	Denizli	2940
22	Isparta	1035	Kayseri	1595	Kahramanmaraş	2924
23	Afyon	1021	Şanlıurfa	1592	Konya	2908
24	Konya	1016	Gaziantep	1589	Aksaray	2897

Bu analizler açıkça ortaya koymaktadır ki, GEPA algoritmasının önemli çarpanlarından bir tanesi denizden yükseklikliktir. Bu sebeple ülkemizde rakımı yüksek olan merkezler için güneş ışıması değerleri yüksek hesaplanmıştır. Güneşlenme süresi sıralamasında 2. sıra gibi çok yüksek bir güneşlenme süresine sahip olsa da, denizden yükseklik sıralamasında 33. sırada bulunan Iğdır GEPA güneş ışıması sıralamasında 46. sırada gösterilmektedir.

Iğdır'ın arazi ve topoğrafik durumu incelendiğinde (Bkz.B:2.1) Merkez, Karakoyunlu ve Aralık ilçelerini kapsayan kuzey ve doğu kesimlerinin ova ve tarım arazisi olduğu; Tuzluca ilçesi ile OSB ve Havaalanını içerisine alan güney ve batı kesimlerinin ise tarıma elverişli olmayan toprak ve arazi vasfında olduğunu görmekteyiz (Şekil 5-1). Iğdır'ın daha çok batısında, Tuzluca istikametinde kalan bu bölgenin, Iğdır Merkez'den bağımsız olarak, GEPA'daki güneş enerjisi kapasitesi 1600 kWh/m^2-yıl olarak çıkmaktadır.

11 Ağustos 2011 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlayarak **Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri**'ni açıklayan ETKB, Türkiye için 600 MW'lık kapasite duyurusunda 36 ili yatırım yapılabilir olarak değerlendirirken Iğdır'ı güneş enerjisi potansiyelinin yetersizliği gerekçesiyle listede göstermemiş, kapasite tahsisi yapmamıştır. Başvuruların önce 1650 kWh/m^2-yıl, daha sonra revize edilerek 1620 kWh/m^2-yıl'dan yüksek verimde olması zorunluluğu getirilmiştir. Oysa GEPA'ya göre illerimizden yalnızca Mardin, Karaman ve Antalya 1650 kWh/m^2-yıl potansiyelinin üzerindedir. Revizyondan sonraki eşiği, 1620 kWh/m^2-yıl, aşan Mardin, Karaman, Antalya, Van, Burdur, Mersin, Niğde ve Muğla olmak üzere sadece 8 il merkezidir (Tablo 4-3). Geriye kalan 28 ilin hiç birisi 1620 kWh/m^2-yıl eşiğini aşamamaktadır. Hatta ülke sıralamasında 1386 kWh/m^2-yıl'lık potansiyeliyle 67. olan Diyarbakır ve 1399 kWh/m^2-yıl ile 65. olan Erzurum dahi yatırım yapılabilir iller listesinde yer almıştır.

4.3. PVGIS ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan bir diğer FV güneş elektriği potansiyelini belirme aracı PVGIS'tir. Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (EC JRC) tarafından hazırlanan internet tabanlı çalışan ara yüzdür.

Bir FV sistem performans tahmini yapabilmek için solar radyasyon verisine ihtiyaç vardır. Dünyada farklı solar radyasyon veri kaynakları bulunur. Hiç biri kusursuz değildir. Her birini incelerken güçlü ve zayıf yönlerini iyi ayırt etmek gerekir. 2010 sonbaharında çıkan PVGIS'in son versiyonu ilk kez bazı bölgeler için farklı solar radyasyon veri bankaları seçme şansı tanımaktadır. PVGIS'in eski versiyonu PVGIS-3 ve yeni versiyonu PVGIS-CMSAF'tır. Bazı bölgeler için eski veri kaynağı versiyonu hala tek seçenektir. PVGIS'e göre solar radyasyon kaynakları Sahada doğrudan ölçümler ve Uydu verisinden hesaplamalar olmak üzere iki türlüdür. Sahada doğrudan ölçümleri birden fazla cihazla yapmak mümkündür. En yaygın kullanılanı piranometredir. Piranometre genel anlamda güneşten gelen, gökyüzünden ve bulutlardan saçılan/yansıyan radyasyonu ölçer. Herhangi bir nokta için solar radyasyonu en doğru verecek yöntem budur. İsteğe bağlı olarak saatlik, dakikalık hatta saniyelik sıklıkta ölçüm alınabilir. Doğrudan ölçüm yönteminin en önemli zayıflığı, arızalar hariç, hassas kısmın toz, kir, kar vb ile kaplanması veya yıl ve gün içerisinde farklı zamanlarda bina, ağaç vb engelleyicilerin gölgesine maruz kalmasıdır. Bu zayıflık özenli yer seçimi ve dikkatli bakım ile giderilebilir [86].

Doğrudan ölçüm yapılmayan veya ölçüm kalitesine ve sonucuna etki eden unsurların sabit olduğu durumlarda, en yakın ölçüm noktasından sağlanacak veriler ile solar radyasyon tahmininde bulunulabilir. Ancak bu durumda da her iki nokta arasındaki mesafe ile coğrafik, topoğrafik ve meteorolojik koşulların benzerlik ölçütü tutarlılıkta belirleyicidir. Benzer koşullarda çevrede birden fazla saha varsa, istatistiki bir kombinasyon ile çıkarımda bulunmaya çalışılır [5]. PVGIS Avrupa için hazırladığı solar radyasyon veri bankasında bu yöntemden yararlanmıştır [86].

Uydu verisinden hesaplama ile solar radyasyon tahmin etmede kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Genellikle uydular dünyadan gelen görünür veya kızılötesi ışığı ölçmeye odaklanırlar. Bu ışık yer yüzeyinden veya bulutlardan yansıyan bir ışıktır. Bu nedenle yer yüzeyindeki solar radyasyon hesaplaması bulutlardan olan yansıma yanında atmosfer tarafından emilen radyasyonu da dikkate almalıdır.

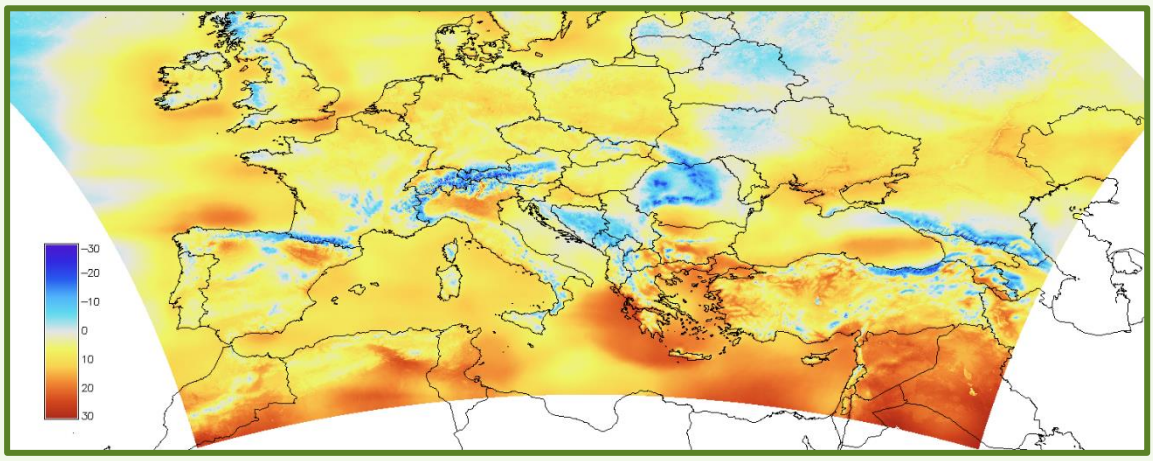
Farklı uydu tiplerinden solar radyasyon hesaplamasında yararlanılabilir. Sabit yörüngeli uydular 15-30 dakika aralıklarla, zamansal sıklık olarak yüksek çözünürlüklü, yer yüzünün fotoğraflarını çekerler ve böylece her bir piksel birkaç km'lik dikdörtgen sahayı temsil eder. Görüntülerdeki bir piksel ilgili saha için ortalama bir solar radyasyon değeri verir. Kutupsal yörüngeli uydular ise yer küreye daha yakınlardır ve sürekli yer küre etrafında dönerler. Bu yakınlık bir avantaj olmasına rağmen aynı bölge için bir günde yalnızca birkaç görüntü alabilmektedirler. PVGIS daha çok sabit yörüngeli uydu görüntüleri ile çalışmaktadır.

Uydu tabanlı yöntemlerin asıl avantajı, saha ölçümleri birbirinden uzak, bağımsız ve yalnızca ölçüm noktasını temsil eden değerler üretirken, geniş alanlar için tamamen tekdüze bir veri sağlamalarıdır. Tabi bunun da ciddi mahzurları bulunmaktadır. Mesela kar örtüsü, bulut gibi algılanabildiğinden, her ne kadar telafi çalışmaları yürütülse de, uydu yöntemleri için ciddi bir belirsizlik yaratır. Yine topoğrafyanın engebeli olduğu alanlarda bir piksel farklı rakımları temsil etmek zorunda kalabilir. Rakıma bağlı solar radyasyon uydu temelli hesaplamalarda hataya açıktır. Ayrıca güneşin gökyüzünde zayıf olduğu zamanlarda, özellikle kışın ve yüksek rakımlarda, uydu verisinden hesaplama yapmak güçleşir. Yüksek kalitede yapılmış doğrudan saha ölçümleriyle karşılaştırma yapılarak bu tip mahzurların etkisi en aza indirgenebilir.

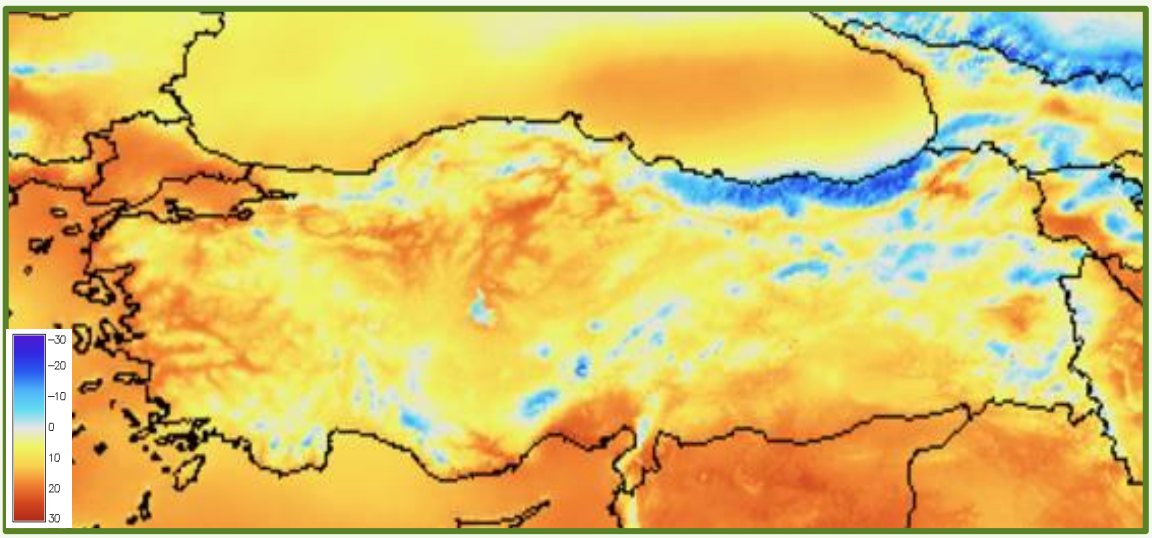
Orijinal PVGIS Avrupa: PVGIS Avrupa için yararlanılan orijinal veri bankası doğrudan saha ölçümlerinin enterpolasyonuna dayanmaktadır. Doğrudan saha ölçüm verisi, yataya gelen küresel ve yayınık, 1981-1990 yıllarını kapsayan uzun yıllar aylık ortalama irradyasyon ölçümleridir. Veri kaynağı Avrupa Solar Radyasyon Atlası (ESRA)'dır.

Yeni CM-SAF-PVGIS Avrupa: Bu veri CM-SAF tarafından sağlanan uydu görüntüleriyle hesaplamalara dayanmaktadır. Bu veri bankası 12 yıllık veriyi temsil eder. İlk Nesil Meteosat (5-7) uydularından, MFG 1998-2005 ve İkinci Nesil Meteosat uydularından, MSG 2006-2011 temin edilmiştir.

PVGIS-3 ve PVGIS-CMSAF Arasındaki Radyasyon Değişimi: Sarı ve Kırmızı PVGIS-CMSAF'in PVGIS-3'ten yüksek; Mavi ise düşük değerler verdiğini göstermektedir. Renk kodları ile yüzdelik değişimler izlenebilir. Avrupa haritasında Alpler gibi dağlık kesimlerdeki düşüşler görünürken Po Ovası gibi düşük kotlu arazilerde yükselişler dikkat çekicidir (Şekil 4-14). Ağrı dağı ve Toroslar gibi yüksek yerlerde de yeni yöntem solar radyasyon potansiyel tahminini düşürürken, Iğdır da dahil olmak üzere Trakya, İç Anadolu, Çukurova ve Harran gibi rakımın düşük olduğu yerlerde potansiyel tahminini yükselttiğini görüyoruz (Şekil 4-15) [*Dr.LY*].



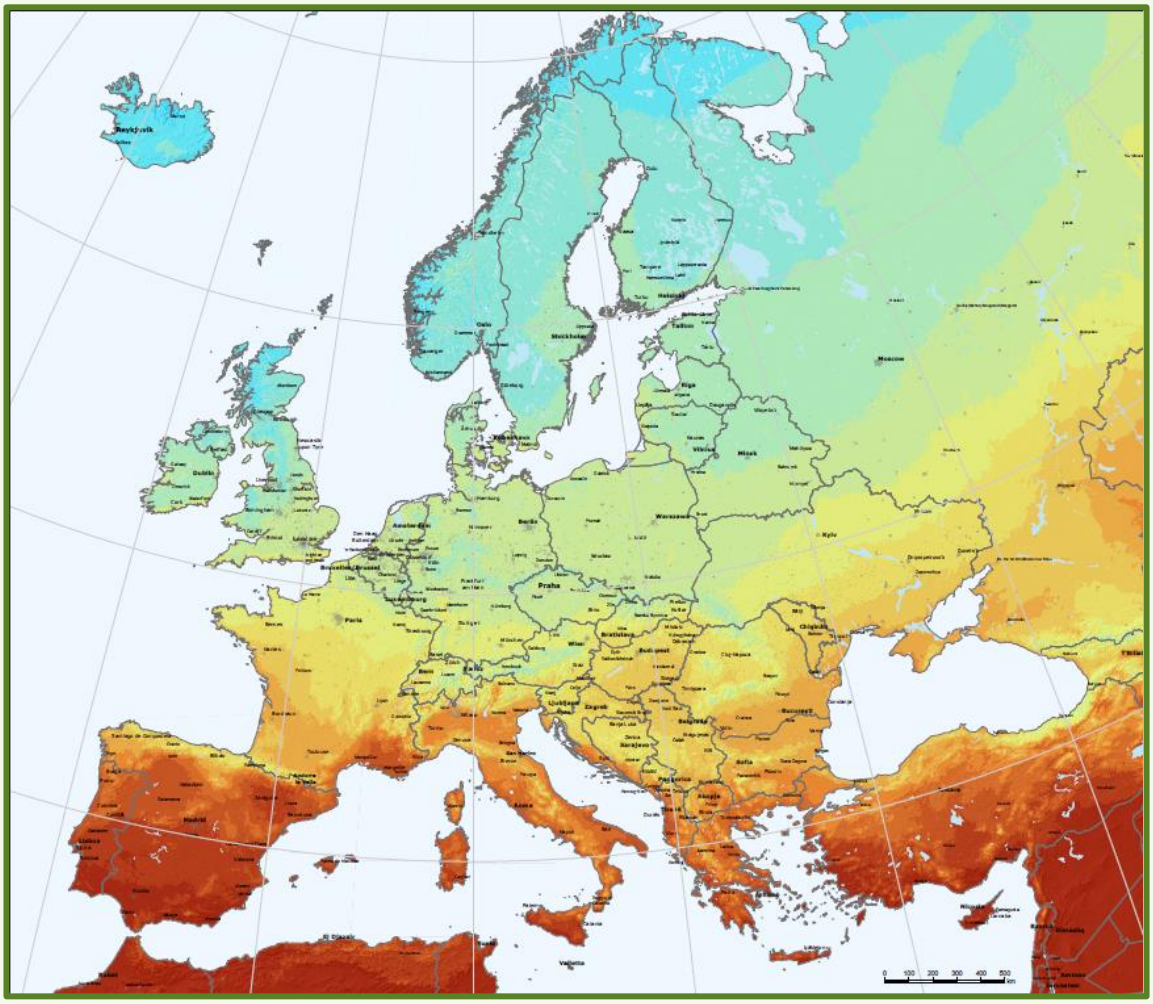
Şekil 4-14 PVGIS-3 ve PVGIS-CMSAF arasındaki radyasyon değişimi, Avrupa



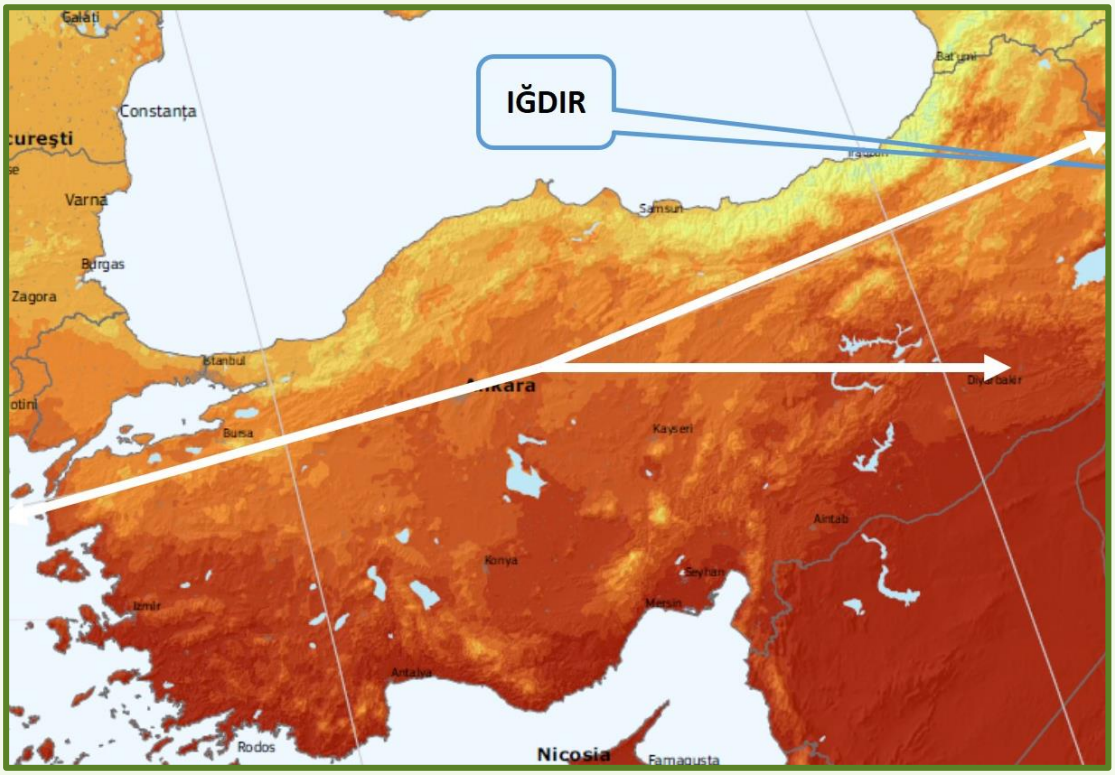
Şekil 4-15 PVGIS-3 ve PVGIS-CMSAF arasındaki radyasyon değişimi, Türkiye

PVGIS internet sitesi ziyaret edildiğinde karşımıza bu Avrupa haritası çıkar (Şekil 4-16). Avrupalılara hizmet etmesinden kaynaklı olarak, Avrupa kıtasının merkezini orta nokta olarak kabul eden bu haritada Türkiye sağ alt köşede kalmakta; Dünyanın küre şeklinden dolayı da enlem çizgilerine 20 derece açı yapacak şekilde yatık durmaktadır. Enlem etkisi için Ekvator çizgisine olan paralelliği, uzaklığı ve düzlemsel yatıklığı kriterleri, haritanın bu şekilde sergilenmesinden kaynaklı olarak düşük görünmektedir. Ayrıca bunun başka bir

sebebi de Meteosat uydularının 0° enlemi ile 0° boylamının kesiştiği noktanın 36.000 km yukarısında olmasıdır. Yani bizim ülkemizi eğik sinyallerle taramaktadır. Bu da hatalara neden olmaktadır. Sub Satellite Point'ten uzaklaştıkça hassasiyet azalmakta ve parallaks hatası ortaya çıkmaktadır. Haritadan enleme paralel hale getirilmeden Türkiye kısmının kesiti alınmak istendiğinde, Türkiye'nin tam doğusunda bulunan Iğdır, sanki Kuzeydoğuda bir bölge gibi görünmektedir (Şekil 4-17). Bu tip konumlandırma, hataları kıtasal ve ulusal ölçekte yapılan benzer çalışmaların ve bunlara dayalı alınan kararların ne kadar yanıltıcı olabileceğinin bir göstergesidir. Yapılması gereken FV güneş elektrik potansiyeli tespit edilmek istenen noktaya özel kaynak ve verinin derlenmesi, istenilen hassasiyet doğrultusunda çalışmanın şekillendirilmesidir. Bu şekilde müdahalelerle düzenlenecek ve detaylandırılacak çalışmalar karar vericilerin doğru bilgilendirilmesini sağlayacaktır (Şekil 4-18).

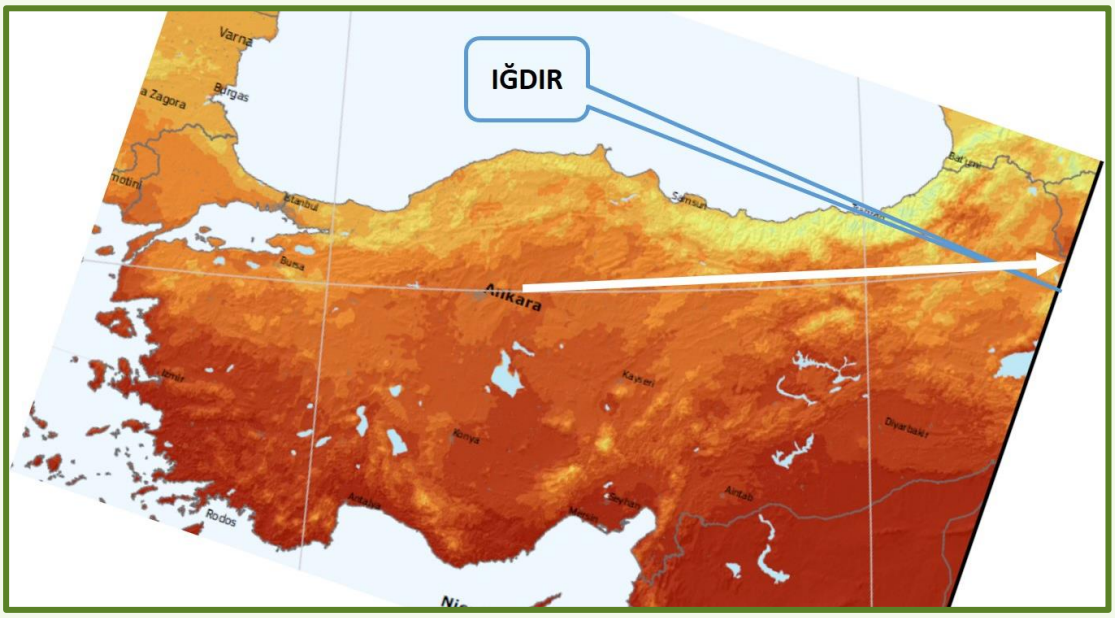


Şekil 4-16 PVGIS Avrupa güneş enerjisi potansiyel haritası [86]



Şekil 4-17 PVGIS güneş enerjisi potansiyeli haritasında Türkiye ve Iğdır'ın 20° ile konumlanışı

Oysa PVGIS veri kaynağı baz alınarak Türkiye için çalışma yapılmak istendiğinde, haritanın öncelikle Şekil 4-18'deki gibi ekvatora paralel hale getirilmesi gerekir. Aksi takdirde coğrafik bir yanılgı oluşur. Bu coğrafik yanılgı da çok zaman sadece Iğdır için değil, Türkiye'nin doğusunda kalan tüm bölge için bir dezavantajmış gibi algılanmasına sebep olmaktadır. Bu yanılgıya düşmemek için yapılması gereken ise hedeflenen muhtemel proje sahası için uygun veri kaynaklarının incelenerek fizibilite çalışmasının uzman kişilerce hazırlanmasıdır.



Şekil 4-18 PVGIS güneş enerjisi potansiyeli haritasının ekvatora paralel duruşu

PVGIS klasik anlamda yatay yüzeye gelen radyasyon değerini aylık bazda verirken aynı zamanda FV panellerin o aya ait en optimum güneşe yönelim açılarını da hesaplamaktadır. FV paneller açılı yerleştirildiğinde hem güneşi daha dik görme hem de yerden yansıyan albedo radyasyonunu alma şansına sahip olurlar. Bu katkı % 13 civarındadır. Yatay yüzeyde 1618 kWh/m²-yıl iken tüm aylar için optimum açı olan 32 derecede FV paneller yerleştirildiği takdirde yıllık maruz olacağı güneş ışıması şiddeti 1824 kWh/m² olacaktır (Tablo 4-5).

Tablo 4-5 PVGIS küresel güneş ışıması değerleri, kWh/m²

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Yataya	48	67	122	136	185	218	231	211	166	113	74	47	1618
Optimum açıya	70	89	145	144	180	204	221	221	200	155	118	76	1824
Optimum açı	59	51	40	24	12	6	10	22	38	51	61	63	32

4.4. HelioClim ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli

Avrupa Komisyonu'nun DG XII, Joule II Programı kapsamında yürütülen bir Avrupa Güneş Atlası çalışması olan HelioClim FV güneş elektriğinden ziyade güneş mimarisi ve mühendisliğine veri üretmeyi hedeflemektedir. Veri kaynağı Meteosat (Avrupa), GOES (ABD) ve GMS (Japonya) gibi meteorolojik uydulardır. Doğrudan ölçüme dayanmamakla birlikte uydu verisiyle türetilmiş güneş haritalarının oluşturulmasında güneş ölçümleri ve diğer meteorolojik veriyi enterpolasyon doğrulayıcısı olarak kullanmaktadır [87]. Ortaya çıkan tabloda yıllar özelinde uydu izlemelerine dayanan FV güneş elektrik potansiyelleri hesaplamak mümkündür. 2004 yılı için 1646 kWh/m²-yıl olan potansiyel hesabı 2005 yılı için 1610 kWh/m²-yıl çıkmaktadır (Tablo 4-6). Bu da güneş ışımasının yıllar arası nasıl salınım gösterebildiğinin bir ispatıdır.

Tablo 4-6 Iğdır için HelioClim uydu izlemeli FV güneş elektrik potansiyeli, kWh/m²-yıl

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
2004	61	88	137	158	172	213	221	200	158	107	72	60	1646
2005	61	88	126	155	176	210	223	177	155	112	71	57	1610

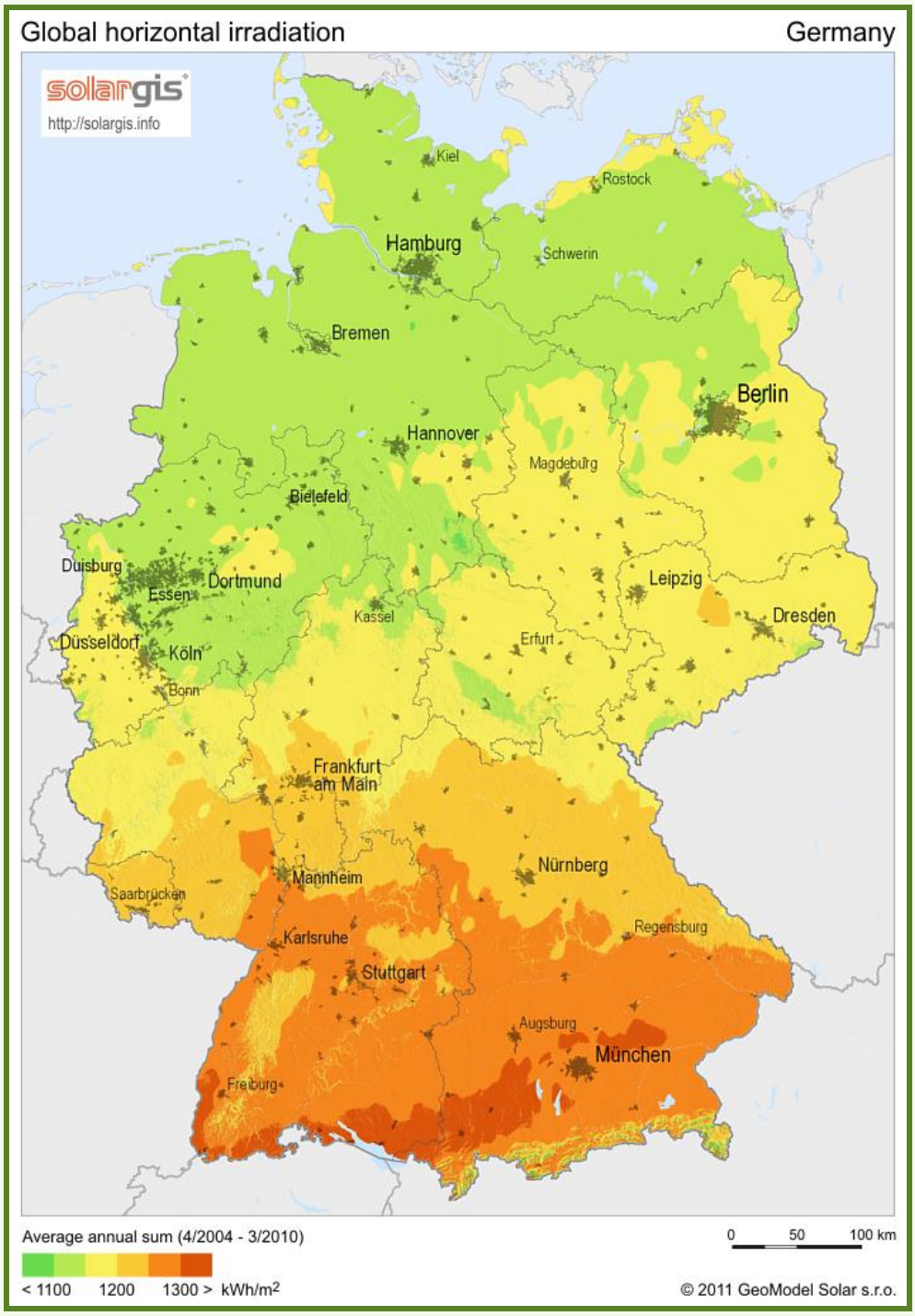
4.5. NASA SSE ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli

NASA SSE (Surface meteorology and Solar Energy. V.6.0) 200'den fazla uydu temelli meteorolojik ve güneş enerjisi parametresinden yararlanarak, 22 yılı (1983 - 2005) temsil eden ortalama aylık kWh/m²/gün cinsinden solar radyasyon verisi üreten bir sistemdir [88]. Iğdır için ortalama yatay yüzeye gelen küresel radyasyon 1983 – 2005 yılları arası gerçekleşmelerine dayanarak ortalama 1607 kWh/m²/yıl'lık bir potansiyel ortaya çıkmaktadır. Biraz kötümser olursak, bu 23 yıllık süreç içerisinde gerçekleşmiş en düşük ışıma değerlerine göre yöre potansiyeli, yani tüm koşulların olumsuz olduğu şartlarda ne kadarlık bir elektrik üretme kapasitemiz vardır diye bakarsak, 1337 kWh/m²/yıl gibi asla yabana atılmayacak bir değere ulaşırız (Tablo 4-7). Bu değeri anlamlandırmak için Almanya'nın en güneyinde bulunan FV kurulumlarıyla meşhur toplam kurulumun % 30'a

yakınını barındıran Bavyera eyaletinin güneş enerjisi potansiyeli ortalamasının 1300 kWh/m²/yıl olduğunu hatırlatmak yeterli olacaktır (Şekil 4-19). Tüm koşulların güneş enerjisi açısından olumlu olması halinde ise elde edilebilecek kapasite 1864 kWh/m²/yıl mertebesine çıkmaktadır. Tabloda aynı zamanda atmosfer etkisinden arındırılmış –hiçbir zaman gerçekleşmesi beklenmeyen- açık gökyüzü (clear sky) hesaplaması da 2140 kWh/m²/yıl olarak görülebilmektedir. 39 derece açıyla yerleştirilmiş FV dizelerinin muhtemel elektrik üretimleri ise 1791 kWh/m²/yıl gibi oldukça doyurucu bir kapasiteye işaret etmektedir. Yüzde 10 civarındaki ortalamadan fazla görünen bu farklılık açılı yerleştirilen FV paneller üzerine doğrudan ve dağıtık gelen güneş ışımasına albedo (yerden yansıyan ışıma) değerlerinin de eklenmesiyle gerçekleşmektedir. Yine bulutluluğun % 58 gibi düşük oranlarda kalması ve güneşlenme süresinin 4456 saat/yıl seviyesinde olması FV güneş elektriği için bölgenin ne kadar uygun olduğunun adeta bir delili niteliğindedir (Tablo 4-7).

Tablo 4-7 SSE Iğdır güneş enerjisi potansiyeli

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Ortalama, kWh/m²-yıl	69	89	126	145	180	205	210	193	155	112	69	55	1607
Minimum, kWh/m²-yıl	53	70	110	113	155	170	183	174	136	84	57	33	1337
Maksimum, kWh/m²-yıl	83	106	148	176	212	232	223	222	170	133	89	71	1864
Clear sky, kWh/m²-yıl	104	133	191	230	261	254	237	212	173	147	107	92	2140
NASA 39° FV, kWh/m²-yıl	116	125	150	148	165	178	187	189	178	154	107	94	1791
Bulutluluk, %	64	70	72	74	66	49	39	33	32	56	67	69	58
Güneşlenme süresi, saat	302	310	369	396	443	447	453	425	372	347	300	293	4456
Sıcaklık 10 m, Ortalama, °C	-5	-4	0	7	12	16	20	19	15	9	2	-3	7
Sıcaklık 10 m, Minimum, °C	-9	-8	-3	3	7	11	14	13	9	5	-1	-6	3
Sıcaklık 10 m, Maksimum, °C	-2	0	4	12	16	22	26	25	20	13	6	0	12

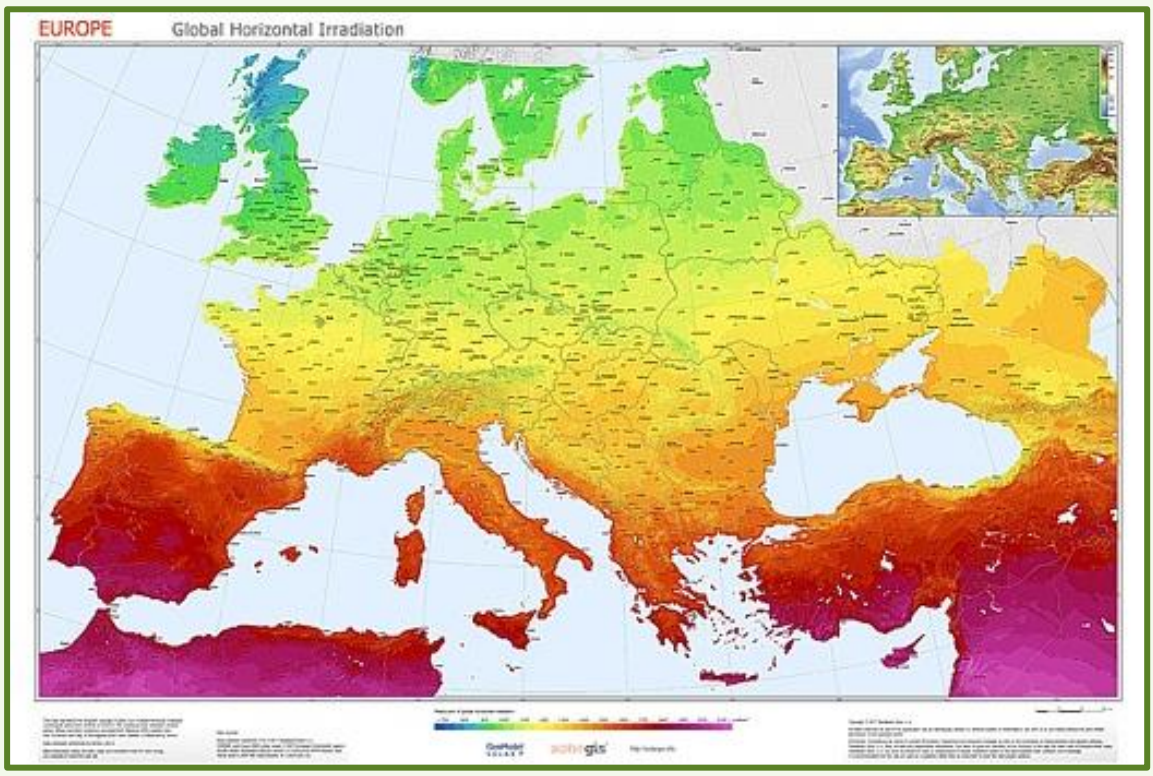


Şekil 4-19 SolarGIS Almanya güneş enerjisi potansiyeli

4.6. SOLARGIS ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli

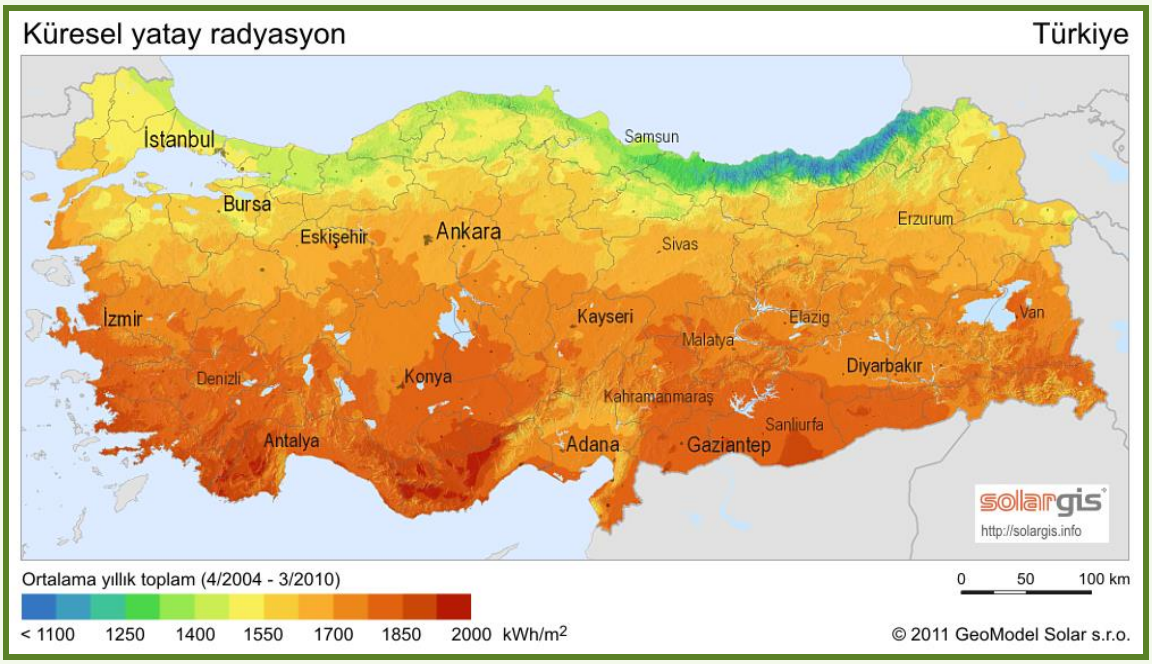
1994-2013 yılları arası yer ölçümlerini esas alan güneş ışıma verisine dayanarak hazırlanmış, FV güneş elektrik üretimine yönelik ışıma şiddetini atmosfer etkisini dikkate alarak hesaplamaya odaklanan internet tabanlı bir ara yüzdür. Özelleştirilmiş nokta veya sahalar için ticari hizmet vermekte ancak kıtasal ve ulusal çalışmalarını kamuoyuna açık tutmaktadır. Iğdır için SolarGIS üzerinden bir potansiyel araştırması gerçekleştirildiğinde genelde

Türkiye'nin özelde ise Iğdır'ın güneş enerjisi potansiyelinin Avrupa ve Asya'da bulunan ülkelerden ne kadar yüksek olduğu görülür (Şekil 4-20).



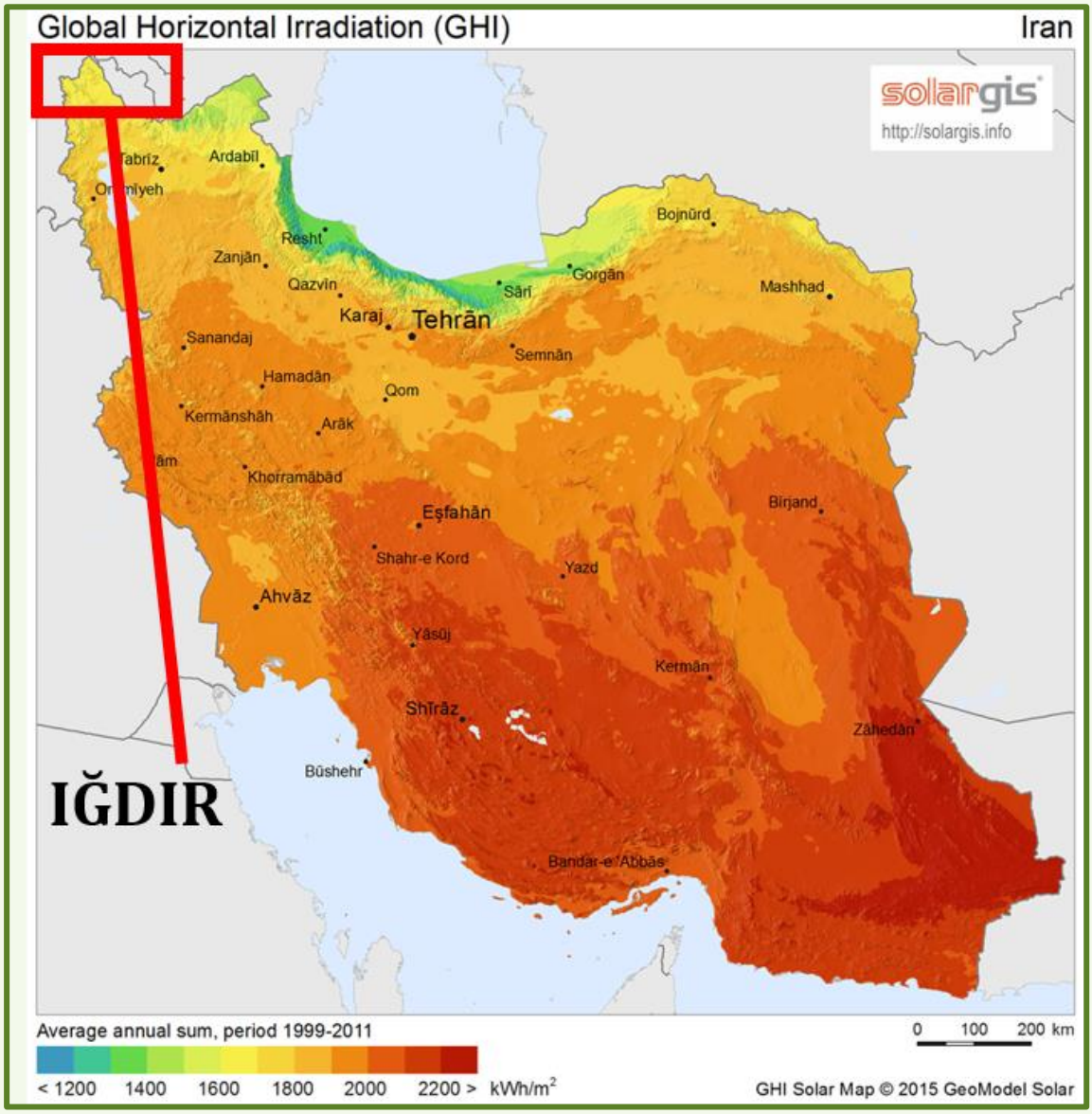
Şekil 4-20 SolarGIS Avrupa ve Türkiye güneş ışıma potansiyeli [89]

Türkiye için SolarGIS yöntemiyle hazırlanmış küresel yatay radyasyon, yani güneş ışıma potansiyel haritasında Orta Akdeniz ve Teke Yarımadası ile birlikte Şanlıurfa dolayları da en yüksek kapasiteye sahip bölgeler olarak renk kodlarıyla gösterilmişlerdir. Iğdır için de 1600 kWh/m^2/yıl değerlerinde bir gösterim söz konusudur. Bu hesaplama yönteminde de denizden olan yüksekliğin bölgelerin ayırt edilmesinde etkili olduğu izlenebilmektedir (Şekil 4-21).



Şekil 4-21 SolarGIS Türkiye küresel yatay radyasyon (güneş ışıması) haritası [89]

Iğdır için batı yaklaşımlı bakılan bu iki harita dışında bir de doğu yaklaşımlı bakış olarak İran incelenebilir. Yine SolarGIS yöntemiyle oluşturulmuş İran küresel yatay radyasyon haritasında İran'ın kuzeybatısında kalan Iğdır'a sınır bölgelerinde güneş ışıma potansiyeli 1650 kWh/m²/yıl civarında renk koduyla görüntülenmektedir (Şekil 4-22). Bu kodlamanın da diğer haritalarla uyumlu olduğu söylenebilir.



Şekil 4-22 SolarGIS İran küresel yatay radyasyon haritası [89]

4.7. MGM verileri ile Iğdır'ın FV Güneş Elektriği Potansiyeli

4.7.1. MGM güneş ölçümleri ve güneş enerjisi potansiyeli çalışmaları

Türkiye'de meteorolojik hizmetlerin tek elden ve düzenli bir şekilde yürütülmesi gayesiyle 1926 yılı sonunda Türkiye'nin Batı, Güney, Trakya ve Orta Anadolu Bölgelerinde iklim çalışmaları için gerekli meteorolojik veriler düzenli bir şekilde elde edilmeye başlanmıştır. Bu hizmet bir müddet farklı bakanlıkların denetiminde kurulan alt birimler vasıtasıyla yürütülmüştür. Nihayet 19 Şubat 1937 tarihinde Cumhurbaşkanı Mustafa Kemâl Atatürk imzasıyla Devlet Meteoroloji İşleri Umum Müdürlüğü kurulmuştur. II. Dünya Savaşı'nın sona ermesinden sonra meteorolojik hizmetlerde de hızlı bir gelişme meydana gelmiş, 31 Mayıs 1949 tarihinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü uluslararası işbirliğinin artması sonucu kurulan Dünya Meteoroloji Teşkilâtı'na (WMO) üye olmuştur [90]. MGM, kuruluş kanunu ile

tanımlanan görev, yetki ve sorumlulukları kapsamında WMO standartlarına uygun, yurt genelinde meteoroloji istasyonları kurup çalıştırmaktadır. Hem hava tahminine altlık teşkil eden sinoptik hem de iklimsel çalışmalara veri oluşturan klimatolojik meteorolojik ölçüm ve gözlem çalışmaları yürütmektedir.

Bu temel görevleri yanı sıra geçmişte ve günümüzde su, rüzgar ve güneş enerjisine yönelik ölçüm ve gözlem yapıyor olması sebebiyle enerji potansiyeli belirlemeye yönelik bireysel ve ortak faaliyetler de yürütmüştür. Güneş enerjisi konusunda yapılan ilk kayda değer çalışma 1983 yılına tarihlenir. DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü) ve EİE'nin 1983 yılında 1973 petrol krizinden sonra tüm dünyada başlayan alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yönelik çalışmalar doğrultusunda tespit etmeye çalıştığı güneş enerjisi potansiyeli, aylık olarak birim alana gelen enerji miktarını zamanın koşullarına göre birim zamanda birim alana gelen kilokalori (kcal/cm^2-ay) cinsinden vermektedir. Günümüzde özellikle elektrikten bahsedilirken kWh birimini kullanmak daha uygun olmaktır. Kalori birimi daha çok beslenme sektöründe kullanılır olmuştur. Bu sebeple veriler kWh birimine dönüştürülmüştür (Tablo 4-8). Coğrafi bölgeler bazında güneşlenme süreleri ve güneş ışıması şiddetleri Tablo 4-9'de verilmiştir. Karadeniz Bölgesi en düşük güneşlenme süresi ve güneş ışımasına maruz kalırken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yüksek güneşlenme süresi ve güneş ışımasına sahiptir [79]. Çok uzun yıllar bu değerler ülkemiz güneş enerjisi potansiyelinden bahseden herkes ve her çalışma için altlık niteliğinde olmuştur. Hatta özellikle Türkiye ortalama güneşlenme süresi olan 2640 saatlik yıllık değer hemen tüm açıklama ve yayınlarda (zaman zaman hatalı kaynak gösterimleriyle de olsa) kullanılmaktadır. Güneş ışıması, küresel radyasyon veya ışınım, güneş ışıması, güneşlenme şiddeti gibi birbirinin yerine kullanılabilen tanımlamalarda ise önemli bir yöntem değişikliği ve güncelleştirme söz konusudur.

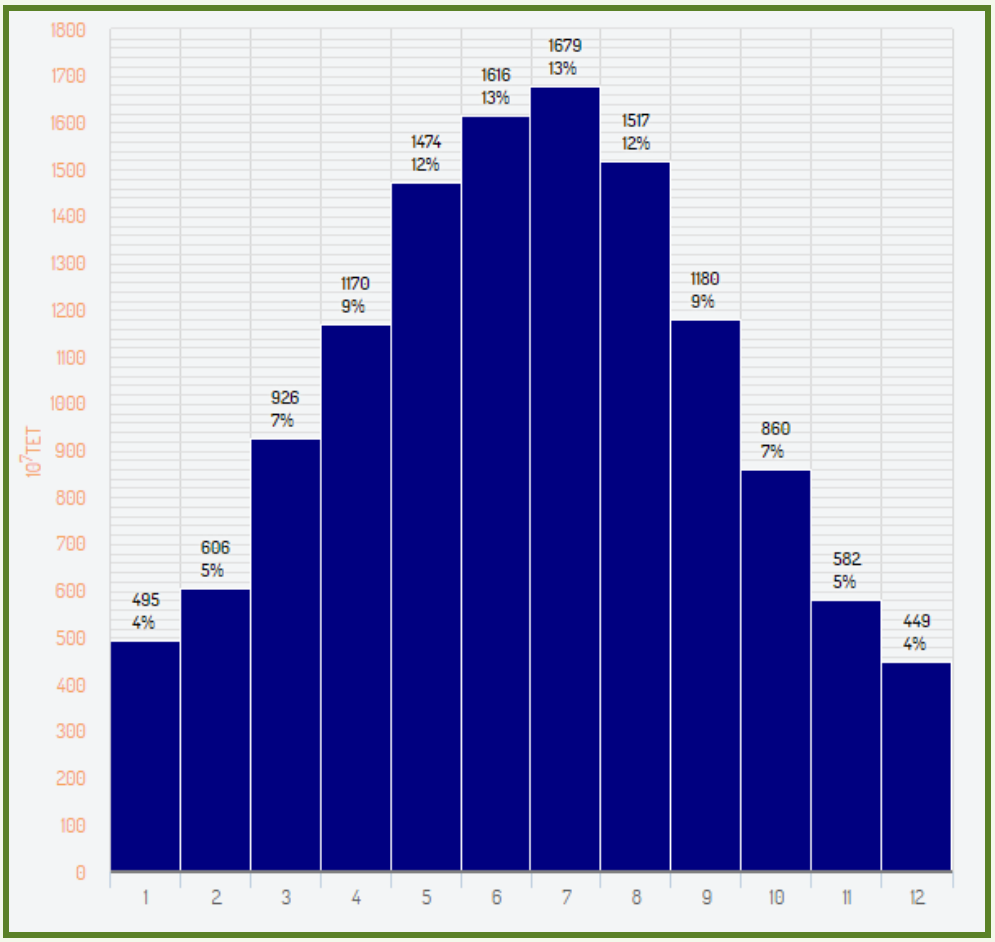
Tablo 4-8 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [79]

Aylar	Aylık toplam güneş enerjisi		Güneşlenme süresi, saat/ay
	kcal/cm^2-ay	kWh/m^2-ay	
Ocak	4,4	51,8	103
Şubat	5,4	63,3	115
Mart	8,3	96,6	165
Nisan	10,5	122,2	197
Mayıs	13,2	153,9	273
Haziran	14,5	168,8	325
Temmuz	15,1	175,4	365
Ağustos	13,6	158,4	343
Eylül	10,6	123,3	280
Ekim	7,7	89,9	214
Kasım	5,2	60,8	157
Aralık	4,0	46,9	103
Toplam	112,7	1311,0	2640
Ortalama	308.0 cal/cm^2-gün	3.6 kWh/m^2-gün	7.2 saat/gün

Tablo 4-9 Türkiye coğrafi bölgeler güneşlenme süresi ve güneş ışıması [79]

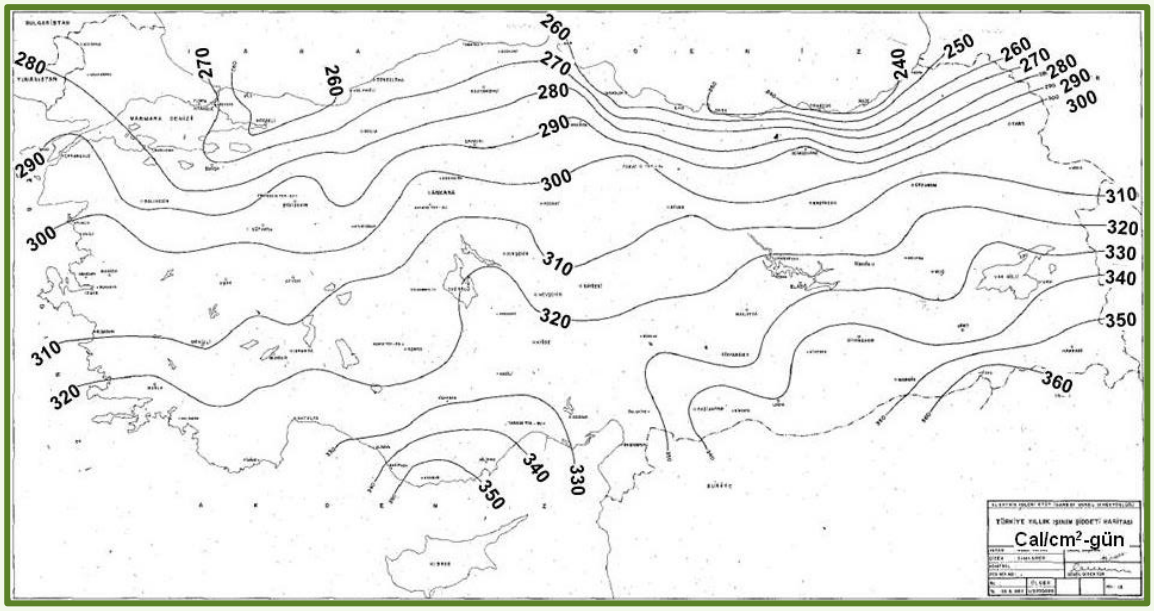
Bölge	Toplam güneş enerjisi, kWh/m^2-yıl	Güneşlenme süresi, saat/yıl
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

[79] tüm Türkiye için güneş enerjisi potansiyeli belirleme çalışmasını derli toplu ilk yapan araştırma olmuştur. Araştırma genel olarak ölçümlerin çeşitli istatistiki yöntemlerle analiz ve ayıklanması; ülkemiz güneşlenme süresinin zamansal ve alansal dağılımının belirlenmesi ve buna bağlı olarak ışıma şiddeti ölçümlerinin analizi ile hatalı ölçümlerinin ayıklanması ve sonuç olarak da ülkemiz güneş enerjisi potansiyelinin zamansal ve alansal dağılımının belirlenmesi konularını kapsamaktadır. Çalışmada DMİ istasyonlarından güneşlenme süresi ve şiddeti ölçümü yapan 54 tanesinin ölçüm verilerinin kullanılabilir olduğu tespit edilmiş, kalan 32 istasyon için Angström yöntemiyle veri türetilmesine gidilmiştir. Sonuç olarak Türkiye güneşlenme süresi 2640 saat/yıl, yıllık ortalama ışıma şiddeti 308 cal/cm^2-gün, yıllık toplam gelen güneş enerjisi miktarı 1,25x10^{11} TET ve kullanılabilir yıllık toplam güneş enerjisi miktarı da 37,5 10^6 TET olarak tespit edilerek zamansal ve alansal dağılımı çıkarılmıştır (Şekil 4-23).



Şekil 4-23 Türkiye güneş enerjisi alansal ve zamansal dağılımı, 10^7 TET [79]

Bu kapsamda aylık ve yıllık Türkiye güneş enerjisi haritaları çizilmiş ve bu haritalar planimetrelenerek enerjinin alansal dağılımları şekillendirilmiştir. Bu tarihi harita güneşlenme şiddeti eş eğrilerini incelediğimizde Iğdır için tam da Türkiye ortalaması (308 cal/cm²-gün) bir değer çıktığını söyleyebiliriz. Bu da birimler dönüştürüldükten sonra Iğdır için yıllık 1311 kWh/m²'ye tekabül etmektedir. Güneşlenme şiddetinin en yüksek olduğu yerlerin bugünkü GEPA'dan farklı olarak Mardin (360 cal/cm²-gün) ve Mersin (350 cal/cm²-gün) bölgeleri olması dikkat çekicidir (Şekil 4-24).



Şekil 4-24 Türkiye yıllık ışıma şiddeti haritası, cal/cm²-gün [79]

1983 tarihli bu çalışmada güneşlenme süresi ölçümü için helyograf, güneşlenme şiddeti ölçümü için ise aktinograf cihazları verilerinden yararlanılmıştır. Her iki cihaz da çok uzun yıllar MGM envanterinde çalışmış mekanik ve diyagramlara kayıt tutan cihazlardır. Aktinograf, temel olarak siyahlaştırılmış bir çift bimetal çubuğun güneş radyasyonunu emmesi ve metalin genişleme katsayısına bağlı olarak kendini bükmesi ile uç tarafındaki kaleminin, saat akışıyla dönen bir silindir üzerindeki kağıt grafiğin ilgili seviyelerini çizmesi şeklinde çalışır (Şekil 4-2). Işık tarafından maddede kimyasal değişmeye sebep olan Aktinik etkiye dayanır. Bu düzenek a) Yazıcı kolun elastikiyet tutarlılığını ve hızlı reaksiyon kabiliyetini yitirmesi, b) Düzenekte kullanılan metallerin yıpranması; c) Grafik kağıdının ve mürekkebinin çeşit ve kalitesindeki farklılıklar; d) Rasatçının davranış özeni ve farklılıkları; e) Saat silindirinin hareketinin saat akışıyla senkronize olamaması gibi potansiyel hatalar barındırır:

Elektronik piranometre ve pirhelyometrelerin yaygınlaşması ile peyderpey kullanımdan çıkarılmışlardır. Mekanik olmaları sebebiyle sistematik hata paylarına sahip bu cihazlar için birçok tespit ve doğrulama araştırması yapılmıştır. Örneğin Aksoy'un [91] aktinograf ve pirhelyometre verilerini karşılaştırdığı araştırmasında 2 yıllık günlük bazda küresel güneş ışıması verisi yeterli bulunmuştur. Bu araştırmaya göre güneşlenme şiddeti (güneş ışıması) ölçümü için tüm dünyada uzun yıllar kullanılan aktinograf cihazları ölçümlerinde yıllık bazda % 14,7, aylık bazda % 42,1 oranlarına ulaşan hatalı değerler olabildiği saptanmıştır. Aktinograf hassas kısımlarının (sensör) mekanik aksamının sıcaklık duyarlılığı düzenli olarak kalibre edilemediğinden dolayı, elde edilen ölçümler yeterince güvenli değildir. Aktinograf ölçümlerinin doğruluğunun ortaya konması hedeflenen, Şili'de yapılan bir çalışmada, 5 yıl süreyle (2000-2004) aktinografının ölçümlerini piranometre ile karşılaştırarak hata payını ve yıl içerisinde kaç gün bu hatanın gerçekleştiği araştırılmıştır. 51 istasyonda aktinograf çalıştıran Şili'nin ilgili sahasında yapılan bu çalışma göstermiştir ki: Aktinograf ile elde edilen

veriler gerçek solar radyasyon değerinden kesinlikle düşük kaydedilmiştir. Aktinograftan elde edilmiş günlük değerlerin % 56'sı % 10-20 arasında düşüktür. Özellikle 3000 – 4000 Wh/m²'lik günlük solar radyasyon değeri ölçümlerinin de % 21,4'ü en yüksek hata payına sahiptir [92] Bu gerekçeyle güneşlenme süresi ile güneş ışıması arasındaki ilişkiye dayanarak geliştirilen bazı ikinci dereceden denklemler vasıtasıyla güneş ışıması değerleri tahmin edilmeye çalışılmış, ulaşılan sonuçlar ile çalışılan nokta için ölçülen piranometre değerleri karşılaştırıldığında yıllık bazda sadece % 4'lük bir hata payı tespit edilmiştir.

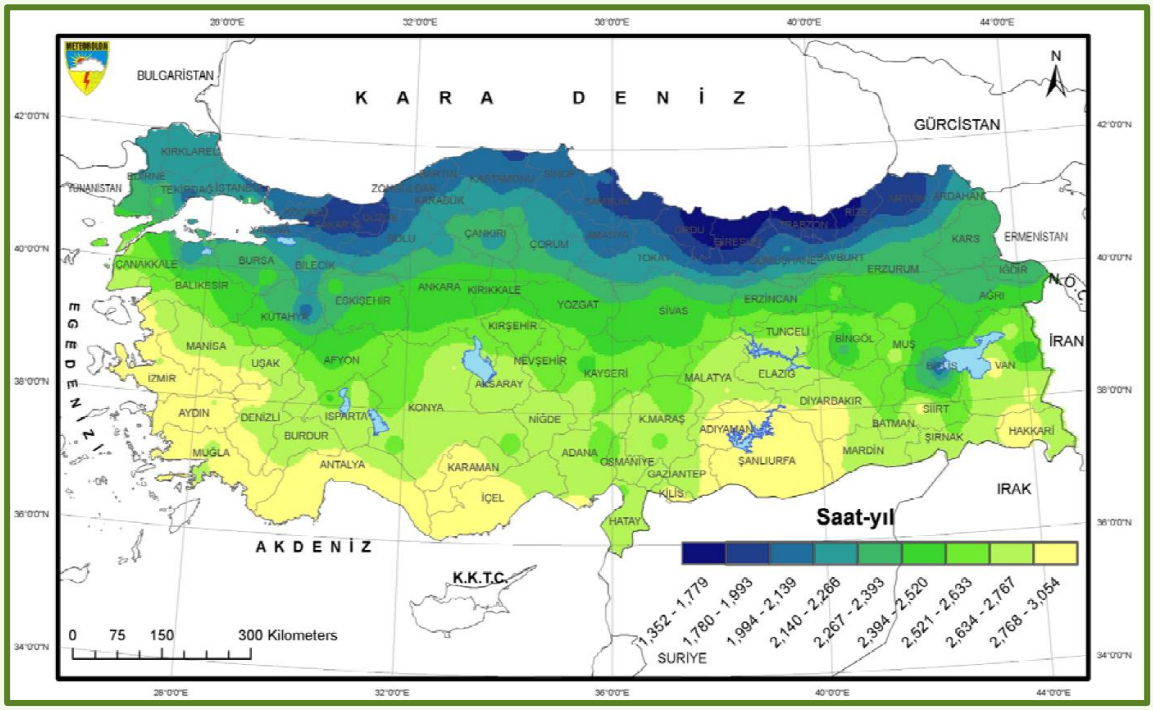
DMİ 2009 yılında yaptığı Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası çalışmasında 1971-2000 yılları arası ölçülen güneşlenme süresi ve ışıma şiddeti verileri işlenmiş; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2573 saat (günlük ortalama 7 saat), ortalama toplam ışıma şiddeti 1474 KWh/m^2-yıl (günlük toplam 4 kWh/m^2) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4-10).

Tablo 4-10 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (DMİ)

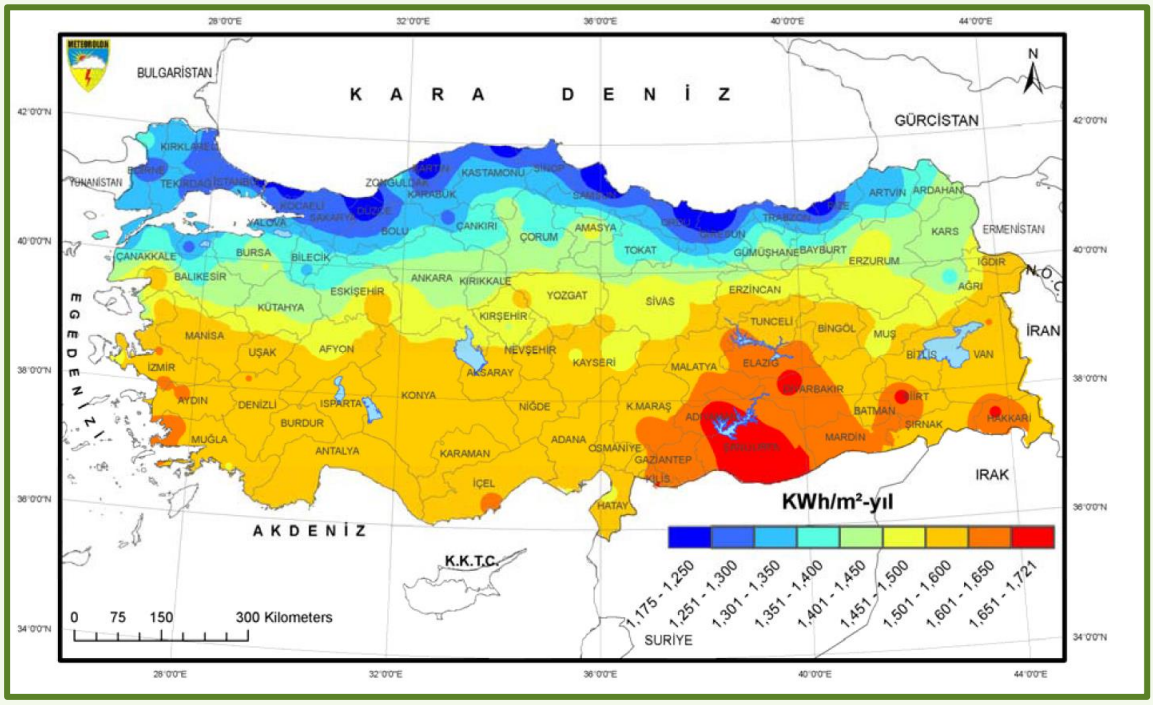
Aylar	Aylık toplam güneş enerjisi		Güneşlenme süresi, Saat/ay
	KCal/cm^2-ay	kWh/m^2-ay	
Ocak	5,13	59,7	106,9
Şubat	6,59	76,6	135,2
Mart	10,04	116,8	170,2
Nisan	11,96	139,1	203,5
Mayıs	14,75	171,5	260,5
Haziran	16,07	186,9	318,1
Temmuz	16,63	193,4	339,3
Ağustos	15,03	174,8	322,3
Eylül	12,06	140,3	277,9
Ekim	8,6	100	200,6
Kasım	5,56	64,7	142
Aralık	4,3	50	96,3
Toplam	127	1474	2573
Ortalama	**347 Cal/cm^2-gün**	**4 kWh/m^2-gün**	**7 Saat/gün**

Bu çalışmada DMİ'nin 1971-2000 iklim periyodunda güneşlenme verisi ölçülen 157 iklim istasyonunun güneşlenme şiddeti verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada uygulanan yaklaşım, coğrafi değişkenlerin belli bazı noktalarda ölçülüp ve tüm alana ait tahmin haritasının mekânsal enterpolasyon yöntemleri ile elde edilmesine dayanmaktadır. Coğrafi verinin mekansal dağılımının elde edilmesinde sadece o veriye ait ölçülen değerlerden yararlanarak tahmin haritası elde edilebileceği gibi, [93]'ın 2007'deki makalesine göre, veriyle mekansal ilişkisi olan ikincil verilerin kullanılması ve bu şekilde haritaların elde edilmesi de mümkündür. Haritalar, Lambert Conformal Conic projeksiyonunda ve ED50 Datumunda hazırlanmıştır. Bu haritada Iğdır, Erzurum, Kars, Ağrı, Erzincan ve Bursa ile aynı kategoride yer almakta; güneşlenme süresi 2330 saat/yıl olarak gösterilmektedir (Şekil 4-25). Güneş ışıması kapasitesini gösteren haritada ise Iğdır, Denizli, Konya, Karaman, Kahramanmaraş ve

Van ile aynı sınıfta yer almakta; 1625 kWh/m^2-yıl'lık bir potansiyelden bahsedilmektedir (Şekil 4-26).

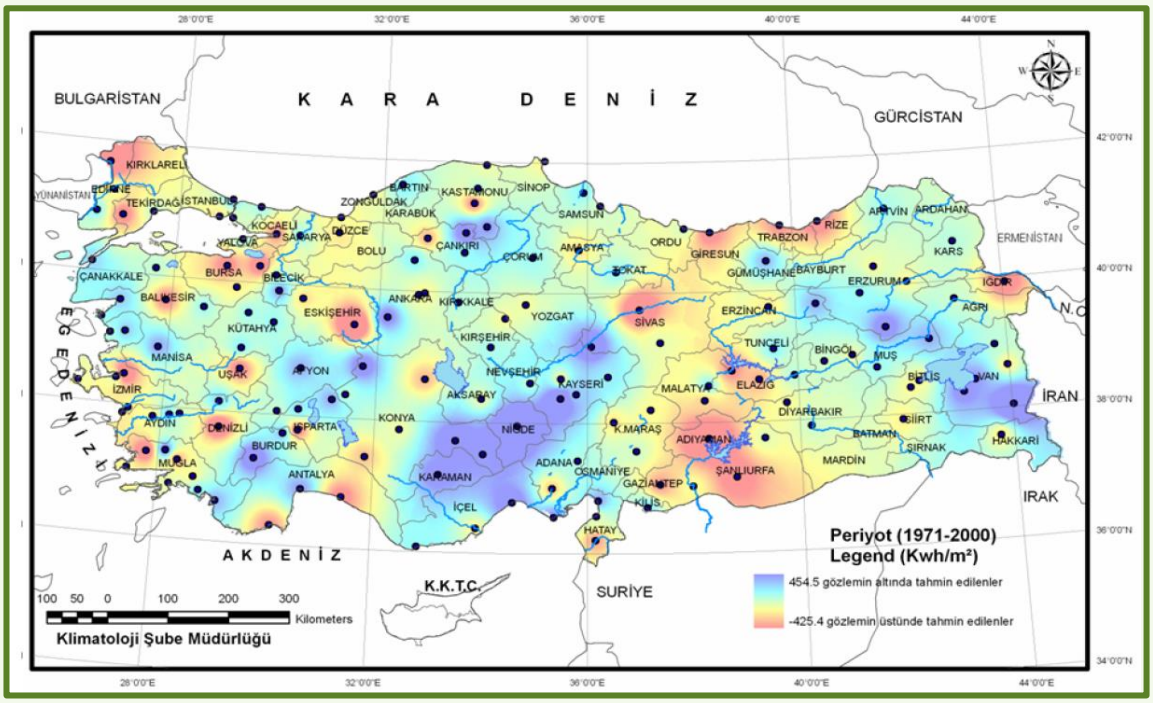


Şekil 4-25 MGM Türkiye yıllık toplam güneşlenme süreleri [94]



Şekil 4-26 MGM Türkiye yıllık toplam güneş radyasyonu (CAR modeline göre) [94]

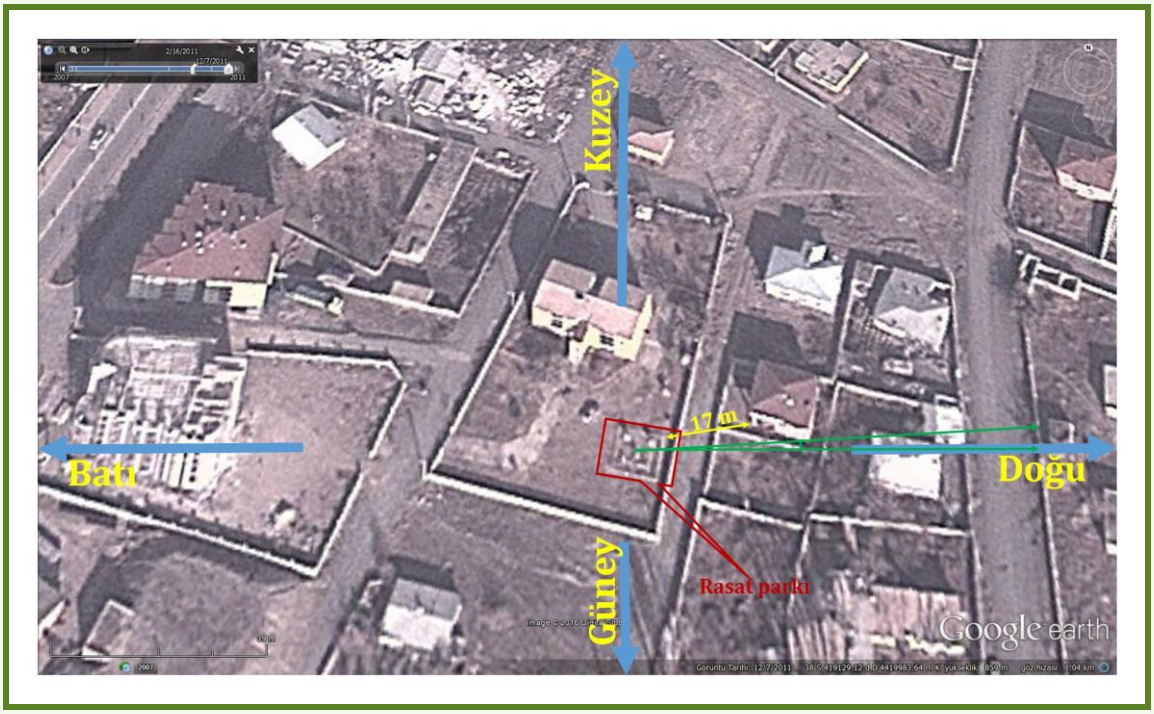
Güneşlenme şiddetinin enterpolasyonu modellemesinde Coğrafi Ağırlıklı Regresyon yöntemiyle ikincil parametrelerden Nispi Nem (%) ve Kapalılık (1-10) kullanılarak oluşturulan model sonucunda; Niğde, Karaman, Van, Afyon ve Burdur'da gözlem değerlerinden daha düşük tahminler elde edilirken; Kırklareli, Tekirdağ, Balıkesir, Bursa, Kocaeli, İzmir, Aydın, Denizli, Eskişehir, Kastamonu, Sivas, Giresun, Trabzon, Rize, Elazığ, Adıyaman, Şanlıurfa, Gaziantep, ve Iğdır'da gözlem değerlerinden daha yüksek tahminler elde edilmiştir. Diğer yerlerde ise model, gözlem değerlerine yakın veriler üretmiştir (Şekil 4-27).



Şekil 4-27 Gözlenen güneşlenme şiddeti ile GWR model çıktısı arasındaki kalıntı haritası [94]

4.7.2. Iğdır Meteoroloji Müdürlüğü güneş ölçümleri

Iğdır'da Iğdır Meteoroloji Müdürlüğü tarafından hem klimatolojik anlamda hem de sinoptik gayeler ile meteorolojik ölçüm ve gözlem faaliyetleri yürütülmektedir. Küçük yer değişikliklerine maruz kalmakla birlikte IMM rasat parkı 39°55'33.19"K enlemi ve 44° 3'13.52"D boylamı (38S 419129.12 d D 4419983.64 m K) koordinatlarında faaliyetini sürdürmektedir. Kurulduğu yıllarda şehir dışında yer alan istasyon gelişme ve büyümeyle birlikte şehir etkisinde kalmaktan kurtulamamıştır. Doğusunda ve kuzeyinde istenmeyen yapılaşmalar olmuştur. Meteorolojik parametrelerden özellikle rüzgar yön ve hızı ile güzergahına denk gelmek koşuluyla güneşlenmeye doğrudan, diğer değişkenlerin ölçümlerine de dolaylı olarak özellikle azaltıcı yönde etki etmektedir (Şekil 4-28).

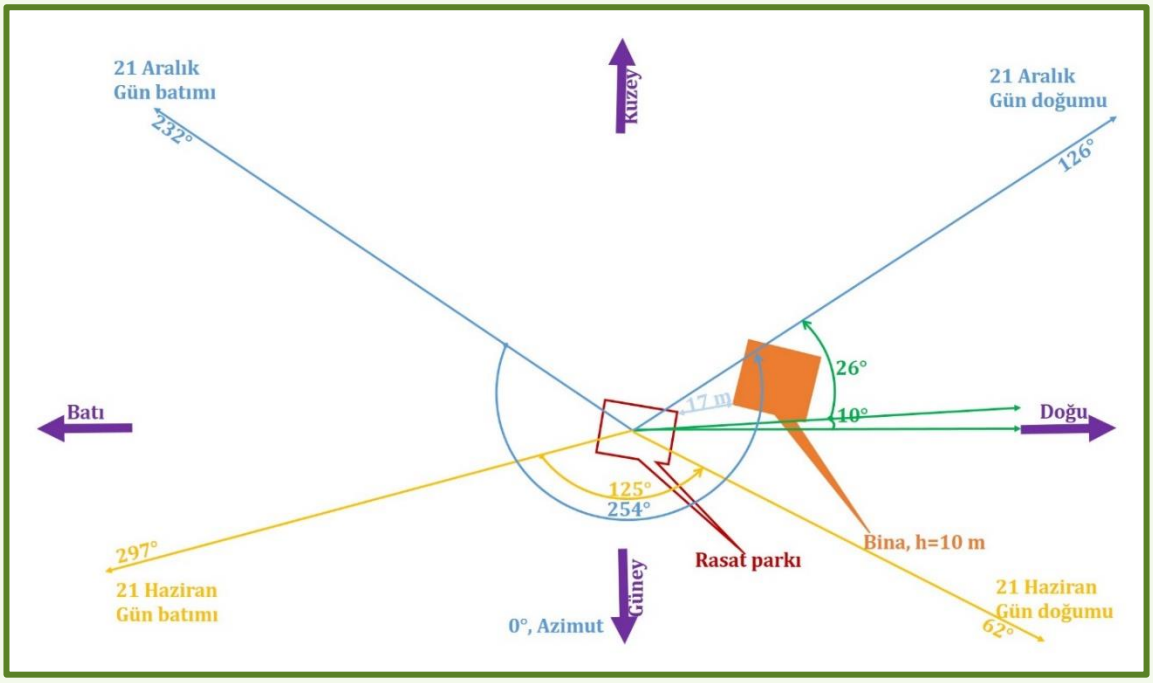


Şekil 4-28 Google Earth aracılığıyla 1000 m'den Iğdır Meteoroloji İstasyonu

IMM rasat parkı, çevresindeki yatay ve dikey engelleriyle analiz edildiğinde batı ve güneyinin açık, doğal ve beşeri engellere maruz kalmadığı görülür. Ancak kuzeyinde bulunan idare binası kuzey menşeili hava akımlarını kesici ve etkisini azaltıcı bir durdurucu/azaltıcı niteliğindedir. Bu rasat parkından alınan rüzgar ölçümlerine dayalı yapılacak çalışmalarda bu durumun gözetilmesi gerekecektir.

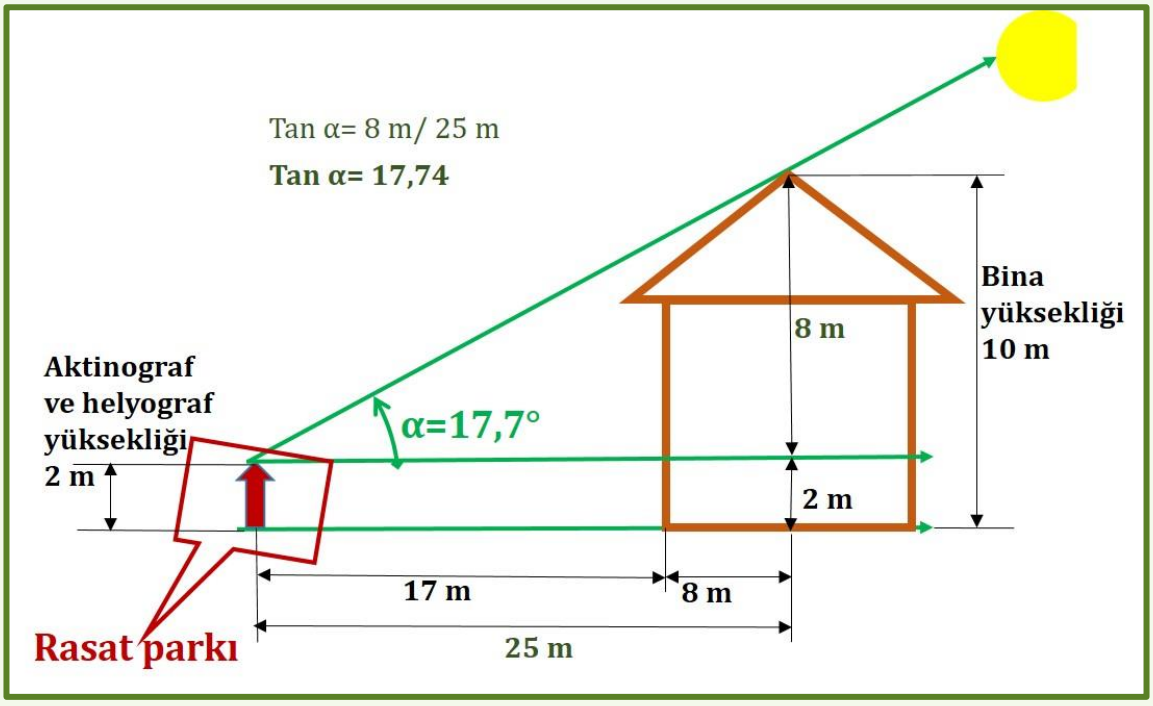
Asıl odaklandığımız konu olan güneşlenme süresi ve dolayısıyla güneş ışıma şiddetinin rasat parkındaki ölçüm cihazlarına kesintisiz, beşeri kısıt olmaksızın erişebilirliğinde önemli bir engel bulunmaktadır. Güneş dünya eksenindeki 23° 27' yatıklık nedeniyle yeryüzündeki herhangi bir noktaya yıl içerisinde sürekli olarak yatay ve dikeyde konum değiştirerek ulaşır. Dünyanın güneş etrafındaki dönüşü sebebiyle de gün içerisinde yatay ve dikey açısı belli bir düzende sürekli olarak değişir. Yeryüzünün herhangi bir noktasında, yılın herhangi bir günü ve günün herhangi bir zamanında güneşin gökyüzündeki yerini söyleyebilmek için yön (azimut, A), yükseklik (altitude, α) ve geliş açısı (zenit, z) değerlerini bilmek gerekir. Pusula derecelendirmesinden ayrı olarak güneş yolunu hesaplarken güney 0° kabul edilir. Doğuya gidiş "+", batıya gidiş "–" derecelerle ifade edilmektedir.

Güneş Iğdır'da yılın en kısa günü 21 Aralık'ta azimut 126°'de doğar, azimut 232°'de batar. IMM rasat parkı kuzeydoğusundan kuzeybatısına doğru toplamda 254°'lik bir yay çizerek ışınlarını ulaştırır. Yılın en uzun günü 21 Haziran'da ise yatayda en dar açı ile gökyüzünde kalır. Bu sırada 125°'lik, güneydoğudan güneybatıya bir yay ile ışınlarını gönderir. Doğal olarak dikeydeki açısal büyüklüğü 21 Haziran'da en büyük olacaktır (Şekil 4-29).



Şekil 4-29 Google Earth aracılığıyla 1000 m'den IMM rasat parkı yatay engel analizi

Tam da bu sırada IMM rasat parkının 17 m doğusunda kalan 10 m yüksekliğindeki yapıdan dolayı 2 m yükseklikte kurulu bulunan helyograf ve aktinografa 21 Aralık'ta yatayda ilk 26°'yi dikeyde de ilk 18°'yi kat edene kadar doğrudan ışınlar (direct irradiation) ulaşamayacak yalnızca yayılan ışıma (distributed irradiation) ölçülebilecektir (Şekil 4-30). Bu durum tam doğu ve tam batı arasında 180°'lik yayda güneşi gördüğümüz 23 Eylül'den 21 Mart'a kadar 6 ay süresince azalarak ve artarak etkisini sürdürür.



Şekil 4-30 IMM rasat parkı dikey engel analizi

6 aylık bu süre içerisinde ortalama 10 saatlik bir günlük güneşlenme süresi olduğu varsayılırsa, günün ilk saatlerinde yaklaşık 3 saat süresince bu etkinin olduğu düşünüldüğünde şöyle bir hesaplama ile yıllık toplamda alınan ölçümlerin ne kadar etkilendiği hesaplanabilir:

(6 ay / 12 ay) x (3 saat / 10 saat) = 1/2 x 3/10 = 3/20 => **~% 15**

Bu yaklaşımla toplam ölçüm değerlerine, özellikle uzun yıllar ortalamalarına hem güneşlenme süresi hem de güneş ışıma şiddeti yorumlamalarına % 15'lik bir artış eklenmesi bu handikapı ortadan kaldıracak, daha doğru tanımlamalara ve hesaplamalara olanak tanıyacaktır.

4.7.3. Iğdır'ın teorik güneş enerjisi potansiyeli

Bir bölgenin güneş enerjisi potansiyeli astronomik formülasyonlar ile kesin olarak hesaplanabilir. Yıl içerisinde ve gün içerisinde güneşin ilgili bölgeye hangi açıyla ve ne kadar süreyle, dolayısıyla ne miktarda güneş ışını gönderebileceği bellidir. Nitekim atmosferin dışı kabul edilen bölgede güneşin ışıma şiddeti her daim 1367 W/m^2'dir ve bu değer Güneş Sabiti olarak kabul edilir. Eğer atmosfer etkisi olmasa, dünya yüzeyindeki herhangi bir noktaya ulaşan güneş ışıması şiddeti de 1367 W/m^2 olacaktır. Ancak yerküremizi sarmalayan bu gaz ve partiküllerden oluşan katman, güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşması esnasında engellemeler, kırılmalar, sıçramalar, emmeler ve tekrar yansıtmalar yaparak durumu karmaşık bir hale sokar. Herhangi bir zamanda yere ulaşan güneş ışıma şiddetini hesaplamak imkansızlaşır. Yine de o bölge için eşikleri tanımak adına yapılacak bir teorik güneş enerjisi potansiyeli çalışması (atmosfer etkisi yok sayılarak) sonraki çalışmaların anlaşılmasını ve yorumlanmasını kolaylaştırır. Bu yaklaşımla hesaplanmış Iğdır'ın 365 gününü temsil eden günlük güneşlenme süreleri incelendiğinde en az güneş görülebilecek günlerin 9,2 saat/gün ile Aralık ayının 3. Haftası, en çok güneş görülebilecek günlerin ise 14,9 saat/gün ile Haziran ayının 3. ve 4. haftaları olduğu görülür. Ortalama 12,1 saat/gün'lük bir güneşlenme süresi teorik potansiyeline sahip Iğdır'ın yıllık toplam teorik güneşlenme süresi ise 4425 saat'tir (Tablo 4-11).

Teorik güneş ışıma şiddeti için de benzer bir durum söz konusudur. Atmosfer etkisi olmaksızın Iğdır'a yılın 365 günü düşebilecek enerji miktarı hesaplanabilir. Beklenildiği üzere Aralık ayının ikinci yarısı 3,9 kWh/m^2-gün olan en düşük değere karşılık Haziranın 3. haftası 11,7 kWh/m^2-gün'lük en yüksek değere ulaşılır. Yıllık ortalama 8 kWh/m^2-gün'lük ve yıllık toplam 2911 kWh/m^2'lik teorik güneş ışıma şiddeti potansiyeli hesaplanmıştır (Tablo 4-12).

Tablo 4-11 Teorik güneşlenme süresi, Saat-Gün [95]

Gün/ Ortalama/ Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	9,3	10,1	11,3	12,6	13,8	14,7	14,8	14,1	12,9	11,7	10,4	9,4
2	9,3	10,1	11,3	12,6	13,9	14,7	14,8	14,1	12,9	11,6	10,3	9,4
3	9,3	10,1	11,3	12,7	13,9	14,8	14,8	14,1	12,9	11,6	10,3	9,4
4	9,3	10,2	11,4	12,7	13,9	14,8	14,8	14,0	12,8	11,5	10,2	9,4
5	9,3	10,2	11,4	12,8	14,0	14,8	14,8	14,0	12,8	11,5	10,2	9,4
6	9,4	10,3	11,5	12,8	14,0	14,8	14,8	14,0	12,7	11,4	10,2	9,3
7	9,4	10,3	11,5	12,9	14,0	14,8	14,8	13,9	12,7	11,4	10,1	9,3
8	9,4	10,3	11,5	12,9	14,1	14,8	14,8	13,9	12,7	11,4	10,1	9,3
9	9,4	10,4	11,6	12,9	14,1	14,8	14,7	13,9	12,6	11,3	10,1	9,3
10	9,4	10,4	11,6	13,0	14,1	14,8	14,7	13,8	12,6	11,3	10,0	9,3
11	9,4	10,5	11,7	13,0	14,2	14,8	14,7	13,8	12,5	11,2	10,0	9,3
12	9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,9	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
13	9,5	10,5	11,8	13,1	14,2	14,9	14,6	13,7	12,4	11,1	9,9	9,3
14	9,5	10,6	11,8	13,2	14,3	14,9	14,6	13,7	12,4	11,1	9,9	9,3
15	9,6	10,6	11,9	13,2	14,3	14,9	14,6	13,6	12,4	11,1	9,9	9,2
16	9,6	10,7	11,9	13,2	14,3	14,9	14,6	13,6	12,3	11,0	9,8	9,2
17	9,6	10,7	12,0	13,3	14,4	14,9	14,6	13,6	12,3	11,0	9,8	9,2
18	9,6	10,7	12,0	13,3	14,4	14,9	14,5	13,5	12,2	10,9	9,8	9,2
19	9,6	10,8	12,0	13,4	14,4	14,9	14,5	13,5	12,2	10,9	9,7	9,2
20	9,7	10,8	12,1	13,4	14,4	14,9	14,5	13,4	12,1	10,8	9,7	9,2
21	9,7	10,9	12,1	13,4	14,5	14,9	14,5	13,4	12,1	10,8	9,7	9,2
22	9,7	10,9	12,2	13,5	14,5	14,9	14,4	13,4	12,0	10,8	9,7	9,2
23	9,8	10,9	12,2	13,5	14,5	14,9	14,4	13,3	12,0	10,7	9,6	9,2
24	9,8	11,0	12,3	13,6	14,5	14,9	14,4	13,3	12,0	10,7	9,6	9,2
25	9,8	11,0	12,3	13,6	14,6	14,9	14,3	13,2	11,9	10,6	9,6	9,2
26	9,9	11,1	12,3	13,6	14,6	14,9	14,3	13,2	11,9	10,6	9,5	9,2
27	9,9	11,1	12,4	13,7	14,6	14,9	14,3	13,2	11,8	10,6	9,5	9,3
28	9,9	11,2	12,4	13,7	14,6	14,9	14,3	13,1	11,8	10,5	9,5	9,3
29	10,0	11,2	12,5	13,8	14,7	14,9	14,2	13,1	11,8	10,5	9,5	9,3
30	10,0		12,5	13,8	14,7	14,8	14,2	13,0	11,7	10,4	9,5	9,3
31	10,0		12,6		14,7		14,2	13,0		10,4		9,3
12,1/ 4425	298,4	307,7	368,8	396,2	443,3	445,2	451,0	420,8	369,6	341,4	295,8	287,5

Tablo 4-12 Teorik küresel güneş ışıması, kWh/m²-gün [95]

Gün/ Ortalama/ Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3,9	5,0	6,8	8,9	10,5	11,5	11,6	10,8	9,4	7,4	5,4	4,1
2	4,0	5,1	6,9	9,0	10,6	11,5	11,6	10,8	9,3	7,4	5,4	4,1
3	4,0	5,1	7,0	9,1	10,6	11,5	11,6	10,7	9,2	7,3	5,3	4,1
4	4,0	5,2	7,0	9,1	10,7	11,6	11,6	10,7	9,2	7,2	5,3	4,1
5	4,0	5,2	7,1	9,2	10,7	11,6	11,5	10,7	9,1	7,2	5,2	4,0
6	4,0	5,3	7,2	9,3	10,7	11,6	11,5	10,6	9,1	7,1	5,2	4,0
7	4,1	5,3	7,2	9,3	10,8	11,6	11,5	10,6	9,0	7,0	5,1	4,0
8	4,1	5,4	7,3	9,4	10,8	11,6	11,5	10,5	8,9	7,0	5,1	4,0
9	4,1	5,5	7,4	9,4	10,9	11,6	11,5	10,5	8,9	6,9	5,0	4,0
10	4,1	5,5	7,4	9,5	10,9	11,6	11,5	10,4	8,8	6,8	5,0	4,0
11	4,2	5,6	7,5	9,6	10,9	11,6	11,4	10,4	8,7	6,8	4,9	3,9
12	4,2	5,6	7,6	9,6	11,0	11,6	11,4	10,4	8,7	6,7	4,9	3,9
13	4,2	5,7	7,7	9,7	11,0	11,6	11,4	10,3	8,6	6,6	4,8	3,9
14	4,2	5,8	7,7	9,7	11,0	11,6	11,4	10,3	8,5	6,6	4,8	3,9
15	4,3	5,8	7,8	9,8	11,1	11,7	11,3	10,2	8,5	6,5	4,7	3,9
16	4,3	5,9	7,9	9,8	11,1	11,7	11,3	10,2	8,4	6,4	4,7	3,9
17	4,3	6,0	7,9	9,9	11,1	11,7	11,3	10,1	8,3	6,4	4,6	3,9
18	4,4	6,0	8,0	9,9	11,2	11,7	11,3	10,1	8,3	6,3	4,6	3,9
19	4,4	6,1	8,1	10,0	11,2	11,7	11,2	10,0	8,2	6,2	4,5	3,9
20	4,5	6,2	8,1	10,0	11,2	11,7	11,2	10,0	8,1	6,2	4,5	3,9
21	4,5	6,2	8,2	10,1	11,3	11,7	11,2	9,9	8,1	6,1	4,5	3,9
22	4,5	6,3	8,3	10,1	11,3	11,7	11,2	9,9	8,0	6,1	4,4	3,9
23	4,6	6,4	8,3	10,2	11,3	11,7	11,1	9,8	7,9	6,0	4,4	3,9
24	4,6	6,4	8,4	10,2	11,3	11,6	11,1	9,8	7,9	5,9	4,3	3,9
25	4,7	6,5	8,5	10,3	11,4	11,6	11,1	9,7	7,8	5,9	4,3	3,9
26	4,7	6,6	8,5	10,3	11,4	11,6	11,0	9,7	7,7	5,8	4,3	3,9
27	4,8	6,6	8,6	10,4	11,4	11,6	11,0	9,6	7,7	5,7	4,2	3,9
28	4,8	6,7	8,7	10,4	11,4	11,6	11,0	9,6	7,6	5,7	4,2	3,9
29	4,9	6,8	8,7	10,5	11,5	11,6	10,9	9,5	7,5	5,6	4,2	3,9
30	4,9		8,8	10,5	11,5	11,6	10,9	9,5	7,5	5,6	4,2	3,9
31	5,0		8,9		11,5		10,9	9,4		5,5		
8,0/ 2911	135,2	169,7	243,4	293,2	343,2	348,6	349,8	314,9	253,1	199,9	141,9	122,2

4.7.4. Iğdır'ın saha güneş enerjisi potansiyeli

Iğdır Meteoroloji Müdürlüğü rasat parkında 1970-2010 arası çalıştırılan helyograf (Şekil 4-1) ölçümlerine dayanan 40 yıllık güneşlenme süresi ölçüm sonuçlarının ortalama değerlerine göre Iğdır'ın 365 günlük periyotta ortalama günlük güneşlenme süresi 6,5 saat, yıllık ise **2394 saat/yıl**'dir (Tablo 4-13).

Küresel ısınma, iklim değişikliği, uçlara giden meteorolojik hadiseler güneşlenme süresi ve şiddetini de bu yönde etkilemiştir. Son kırk yılda düzenli olarak güneşlenme süresi ve şiddetinde artış gözlenmiştir (Bkz.B:2.2). Bu sebeple referans olarak son 40 yıl yerine son 20 yıllık periyodun alınması uygun olacaktır. 1990-2009 yılları arası Iğdır için ortalama günlük güneşlenme süresi 6,7 saat/yıl, yıllık ise **2463 saat/yıl**'dir (Tablo 4-14).

Bu değerler GEPA'ya göre oldukça düşüktür (Bkz.B:4.2). Aradaki bu ciddi farkın ilgili bölümde işlendiği üzere (Bkz.B:4.7) ölçüm cihazına düşen gölgelenme etkisiyle oluştuğu açıktır. Bu sebeple mevcut hesaplamaları % 15 artırımlı olarak değerlendirmek uygun olacaktır. Böylece ortalama günlük güneşlenme süresi 7,7 saat/gün, yıllık ise **2832 saat/yıl** hesaplanır.

Iğdır Meteoroloji Müdürlüğü rasat parkında çalıştırılan aktinograf (Şekil 4-2) ile alınan 40 yıllık (1970-2010) global güneş radyasyon veya güneş ışıma şiddeti değerlerinin günlük ortalaması 3,7 kWh/m^2, yıllık toplamı ise **1342 kWh/m^2–yıl** çıkmaktadır (Tablo 4-15).

Bölüm (2.2)'de açıklandığı üzere küresel güneş ışıma ölçümlerinin de son 40 yılda artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla Iğdır için son 20 yıllık güneş ışıma ölçümlerinin işlenmesiyle günlük ortalama 3,9 kWh/m^2 ve yıllık **1423 kWh/m^2–yıl** değerleri bulunur (Tablo 4-16).

Ayrıca güneş ışıması ölçümlerinin işlendiği ilgili bölümde de (Bkz.B:4.7) açıklandığı üzere % 15'lik bir düzeltme katsayısı uygulama gerekecektir. Bu düzeltmeyle birlikte Iğdır için ortalama küresel güneş ışıması 4,5 kWh/m^2–gün ve **1636 kWh/m^2-yıl** olarak hesaplanır.

Tablo 4-13 MGM Ortalama güneşlenme süresi, Saat, 1970-2009

Gün/ Ortalama/ Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,9	3,5	4,8	6,2	6,9	9,1	10,1	10,2	9,3	7,5	5,4	3,3
2	2,7	3,8	5,3	4,7	8,0	8,6	10,3	10,1	9,6	7,2	5,6	3,0
3	2,7	3,3	5,0	5,0	6,0	9,1	10,5	9,7	9,1	7,3	5,5	3,6
4	2,1	3,9	5,8	5,7	6,7	9,5	10,3	9,9	9,0	6,9	5,8	3,2
5	2,2	3,4	6,1	6,1	7,1	8,9	10,2	10,0	8,9	7,8	5,2	3,1
6	2,6	3,8	5,5	7,0	8,0	9,0	10,4	9,8	9,2	7,4	6,0	2,7
7	2,0	4,0	6,3	6,7	7,6	9,0	10,1	9,5	9,1	7,9	4,3	2,7
8	2,4	4,1	5,4	5,7	7,4	9,4	10,1	9,8	9,1	7,6	5,1	2,7
9	2,4	3,8	5,3	6,0	7,3	9,4	10,2	9,9	8,9	7,9	4,9	1,8
10	2,0	4,2	4,9	6,7	7,2	9,3	10,4	10,2	8,9	7,4	4,6	2,6
11	2,4	4,3	4,9	6,7	7,4	9,4	10,3	9,7	8,9	7,2	3,6	2,8
12	2,3	5,2	5,4	6,3	7,2	9,8	11,1	10,3	8,4	6,7	4,2	2,9
13	2,7	4,0	4,8	6,4	7,0	10,2	10,5	10,6	8,4	6,7	4,6	3,0
14	2,8	3,8	4,1	6,4	7,6	9,7	10,8	10,7	8,8	6,4	4,6	2,7
15	2,5	3,8	4,7	5,7	6,6	9,4	10,1	9,9	9,2	6,2	4,9	2,6
16	3,0	4,9	5,7	5,2	7,0	9,3	9,8	9,9	8,9	6,6	4,6	3,5
17	2,9	4,6	5,4	5,9	7,7	9,5	9,7	9,4	8,8	6,7	4,8	2,4
18	2,8	4,5	5,6	5,5	8,3	9,1	10,1	9,5	8,5	6,4	4,3	3,0
19	3,0	4,6	5,1	6,2	7,4	9,6	10,5	9,9	8,6	6,1	4,1	2,3
20	2,9	4,5	6,3	6,0	7,8	9,9	9,9	10,0	8,5	6,1	4,8	2,5
21	2,9	5,4	5,2	6,6	8,7	9,3	9,9	9,8	8,3	6,3	4,3	2,8
22	2,9	5,4	6,0	6,5	8,0	9,9	9,9	9,7	8,2	7,3	4,0	3,2
23	3,5	5,0	6,2	5,6	8,8	10,5	10,1	9,6	8,8	7,0	3,6	3,4
24	2,9	5,0	5,1	6,3	8,7	10,8	9,7	9,6	8,1	5,1	4,2	2,6
25	3,9	4,3	5,5	6,1	8,2	11,0	9,7	9,7	7,9	5,0	3,9	2,3
26	3,4	4,9	5,9	6,2	8,4	10,4	9,6	9,7	8,2	4,8	3,8	2,1
27	3,0	4,2	6,6	7,1	8,3	9,9	10,0	9,5	8,2	5,2	3,4	2,8
28	3,3	5,1	6,3	6,6	8,7	9,8	10,2	9,5	8,0	4,1	3,7	2,6
29	3,6	2,5	5,7	6,6	7,8	10,2	10,3	9,5	8,5	5,1	3,7	2,5
30	3,3		5,4	6,3	8,8	10,5	10,6	9,6	7,5	5,1	3,4	2,6
31	2,8		6,3		8,6		10,0	9,5		5,5		2,5
6,5 / 2394	88	126	173	188	244	295	322	313	269	210	146	98

Tablo 4-14 MGM Ortalama güneşlenme süresi, Saat, 1990-2009

Gün/ Ortalama/ Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3,8	4,1	5,5	6,5	6,9	9,4	10,3	10,0	9,7	7,4	5,4	3,3
2	2,8	4,9	5,7	4,1	7,0	8,1	10,4	9,8	10,0	7,6	6,3	3,3
3	2,7	3,5	5,4	4,1	5,5	8,9	10,5	9,7	9,2	7,4	6,0	4,4
4	2,2	5,1	6,7	5,2	6,9	9,9	10,3	10,5	9,3	7,1	6,1	3,4
5	2,0	3,9	6,5	6,7	6,9	8,6	10,0	10,5	9,2	8,5	5,5	2,8
6	2,6	3,3	5,3	7,2	8,7	8,9	10,4	10,0	9,6	7,9	5,9	3,1
7	2,3	4,5	6,1	7,2	8,2	9,4	10,1	9,8	9,2	8,6	4,3	2,1
8	2,7	4,8	5,9	6,3	8,5	9,8	10,0	9,3	9,1	8,0	5,8	2,0
9	2,4	4,4	6,5	5,5	7,1	9,3	10,1	9,8	8,3	8,3	4,6	1,1
10	2,4	5,3	6,1	7,9	7,6	10,1	10,1	10,2	9,0	7,6	4,5	2,8
11	3,0	4,8	6,1	7,2	7,9	9,4	10,4	9,4	9,3	7,1	4,4	3,3
12	2,6	5,9	6,0	7,6	6,6	10,2	11,3	10,6	7,8	7,0	5,3	3,6
13	3,0	4,5	6,1	7,7	7,2	10,5	10,9	11,2	8,1	7,0	5,0	3,1
14	3,3	4,0	5,0	6,5	8,4	9,7	10,9	11,0	8,6	5,7	4,9	2,4
15	2,3	4,4	5,3	5,0	6,6	9,8	10,0	10,7	9,0	6,2	5,2	2,2
16	3,7	6,1	6,2	5,2	7,2	9,2	10,1	10,1	8,9	7,0	5,1	4,3
17	3,4	6,0	6,3	4,8	8,5	9,5	9,3	9,2	9,2	7,1	5,3	2,4
18	3,0	5,0	6,6	4,7	8,0	8,6	9,7	9,7	8,0	7,2	4,4	3,0
19	3,1	6,0	4,7	5,4	7,6	9,8	10,5	9,6	8,4	6,5	4,7	2,0
20	2,8	4,5	6,0	5,7	8,7	10,0	10,0	9,8	8,0	6,3	4,9	2,4
21	3,8	6,4	5,3	6,6	8,9	9,6	9,5	9,4	8,0	6,0	4,0	2,9
22	3,7	6,7	6,0	6,0	8,6	9,8	10,0	9,9	8,0	6,8	4,6	3,3
23	4,4	5,8	6,1	5,7	9,3	11,2	10,4	9,7	8,7	6,9	4,6	3,5
24	2,8	4,9	5,1	6,0	8,3	11,2	9,7	10,0	8,6	5,3	4,9	2,6
25	3,3	4,6	6,3	5,4	8,1	10,6	9,8	9,4	8,0	5,6	4,2	2,7
26	3,2	5,1	6,5	6,7	9,1	9,8	9,4	9,2	8,1	4,8	4,1	2,1
27	3,6	4,5	7,0	7,4	8,4	10,1	10,2	9,5	8,0	5,2	4,0	3,0
28	3,5	6,5	5,9	6,8	9,2	9,6	10,5	9,1	7,5	3,6	4,7	2,9
29	3,8	3,4	5,6	6,3	8,5	10,3	9,9	9,5	8,5	4,6	4,0	2,8
30	3,6		5,2	6,6	8,9	10,9	10,5	9,8	7,6	4,3	3,5	2,9
31	3,2		7,0		8,8		10,6	10,1		5,4		2,4
6,7/ 2463	96	145	187	188	251	298	322	314	268	214	157	100

Tablo 4-15 MGM Ortalama küresel güneş ışıması, kWh/m², 1970-2010

Gün/ Ortalama / Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,5	2,1	3,1	4,0	4,7	5,6	5,8	5,4	4,6	3,5	2,4	1,7
2	1,4	2,1	3,2	3,7	4,9	5,3	5,9	5,3	4,7	3,4	2,3	1,6
3	1,5	2,0	3,2	3,6	4,2	5,6	5,9	5,3	4,5	3,4	2,3	1,6
4	1,4	2,3	3,5	3,9	4,4	5,8	5,8	5,2	4,4	3,4	2,4	1,5
5	1,3	2,2	3,5	4,0	4,9	5,5	5,7	5,3	4,4	3,5	2,3	1,5
6	1,4	2,3	3,4	4,4	5,1	5,7	5,9	5,2	4,5	3,4	2,3	1,5
7	1,4	2,2	3,4	4,3	5,0	5,5	5,8	5,2	4,5	3,5	2,1	1,5
8	1,5	2,2	3,3	4,0	4,9	5,8	5,7	5,1	4,5	3,4	2,2	1,5
9	1,5	2,3	3,2	4,0	4,8	5,7	5,7	5,1	4,4	3,4	2,1	1,3
10	1,5	2,4	3,3	4,4	4,9	5,6	5,8	5,2	4,4	3,3	2,0	1,3
11	1,5	2,4	3,3	4,4	5,0	5,8	5,7	5,1	4,4	3,2	1,9	1,4
12	1,6	2,7	3,4	4,3	4,9	5,9	5,9	5,2	4,2	3,1	2,0	1,4
13	1,7	2,6	3,4	4,3	4,9	6,0	5,7	5,3	4,2	3,1	2,1	1,4
14	1,7	2,4	3,2	4,4	4,9	5,8	5,8	5,3	4,4	3,0	2,1	1,4
15	1,7	2,4	3,4	4,1	4,7	5,7	5,5	5,1	4,4	2,9	2,2	1,4
16	1,7	2,5	3,8	4,0	4,7	5,6	5,4	5,0	4,3	2,9	2,1	1,5
17	1,8	2,7	3,7	4,0	5,1	5,8	5,4	4,9	4,2	2,9	2,1	1,4
18	1,9	2,6	3,6	4,3	5,2	5,7	5,6	4,9	4,1	2,8	1,9	1,4
19	1,8	2,7	3,4	4,4	4,9	5,8	5,6	5,1	4,2	2,8	1,7	1,3
20	1,8	2,7	3,8	4,4	5,3	5,9	5,4	5,0	4,1	2,8	1,9	1,4
21	1,9	2,9	3,7	4,3	5,5	5,6	5,5	5,0	4,0	2,8	1,8	1,4
22	1,8	2,9	3,7	4,5	5,1	5,9	5,5	4,9	3,9	2,9	1,8	1,5
23	1,9	3,0	3,9	4,1	5,5	6,1	5,6	4,8	4,1	2,8	1,6	1,5
24	1,9	3,0	3,5	4,4	5,3	6,0	5,4	4,9	3,9	2,4	1,8	1,4
25	2,1	2,8	3,8	4,4	5,3	6,1	5,3	4,9	3,8	2,4	1,8	1,3
26	2,0	3,1	3,9	4,3	5,3	5,8	5,3	4,8	3,8	2,4	1,7	1,3
27	2,0	2,8	4,2	4,5	5,2	5,7	5,3	4,8	3,7	2,3	1,6	1,4
28	2,0	3,2	4,1	4,5	5,5	5,7	5,5	4,7	3,7	2,2	1,7	1,4
29	2,1	2,6	3,9	4,6	5,2	5,8	5,4	4,8	3,8	2,3	1,8	1,4
30	2,0		3,7	4,4	5,4	6,0	5,5	4,8	3,5	2,3	1,7	1,5
31	1,9		4,1		5,4		5,4	4,7		2,4		
3,7/ 1342	53,0	74,1	110,3	126,9	156,1	172,9	173,6	156,2	125,6	90,9	59,4	44,5

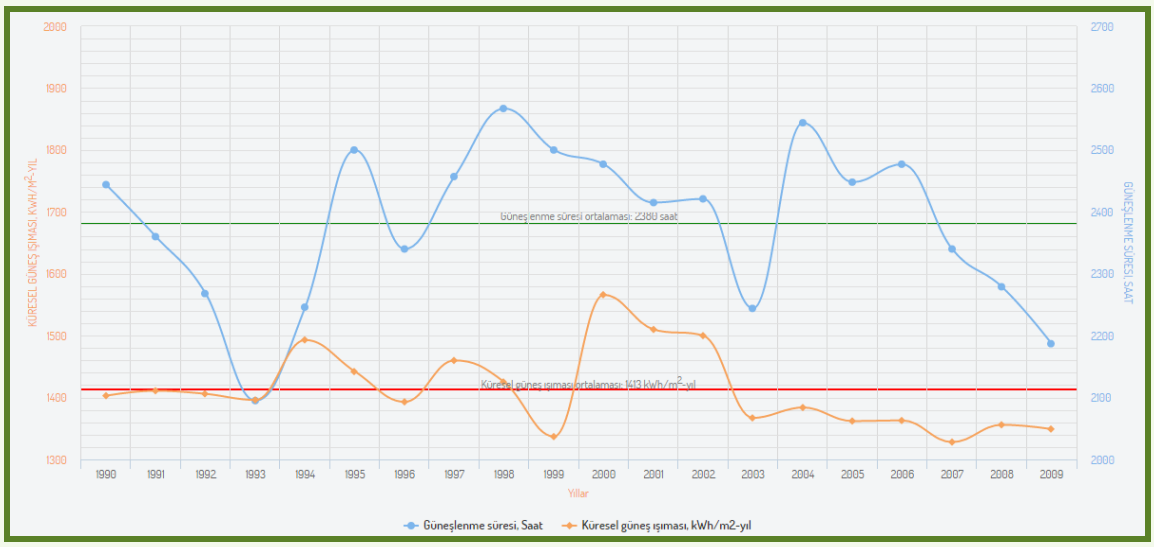
Tablo 4-16 MGM Ortalama küresel güneş ışıması, kWh/m², 1990-2010

Gün/ Ortalama/ Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,5	2,2	3,3	4,2	5,0	6,0	6,2	5,6	5,1	3,7	2,7	1,7
2	1,3	2,4	3,4	3,6	4,7	5,4	6,3	5,6	5,1	3,7	2,5	1,5
3	1,4	2,1	3,4	3,4	4,3	6,0	6,3	5,6	4,9	3,7	2,4	1,7
4	1,3	2,5	3,8	4,1	4,8	6,4	6,1	5,8	4,9	3,7	2,5	1,5
5	1,2	2,3	3,5	4,5	5,1	5,9	6,1	5,6	4,9	3,9	2,3	1,5
6	1,4	2,1	3,4	4,6	5,6	6,0	6,3	5,6	4,9	3,8	2,4	1,6
7	1,5	2,4	3,4	4,6	5,5	6,2	6,2	5,5	4,9	3,9	2,2	1,3
8	1,5	2,3	3,4	4,5	5,4	6,3	6,1	5,3	4,8	3,7	2,5	1,3
9	1,6	2,5	3,6	3,9	4,9	6,1	6,1	5,4	4,5	3,7	2,1	1,1
10	1,6	2,6	3,8	4,8	5,5	6,2	6,0	5,5	4,7	3,5	2,0	1,3
11	1,5	2,5	3,7	4,8	5,3	6,3	6,2	5,4	4,8	3,4	2,0	1,5
12	1,6	2,8	3,5	4,7	5,1	6,3	6,4	5,6	4,3	3,3	2,3	1,5
13	1,6	2,6	3,9	5,0	5,2	6,5	6,2	5,8	4,4	3,3	2,2	1,4
14	1,8	2,4	3,6	4,6	5,5	6,1	6,3	5,7	4,6	3,1	2,2	1,4
15	1,6	2,6	3,7	4,2	5,0	6,2	5,8	5,6	4,6	3,0	2,3	1,3
16	1,8	2,7	3,9	4,1	5,1	5,8	5,9	5,4	4,7	3,2	2,2	1,5
17	1,8	3,0	4,1	3,9	5,6	6,2	5,6	5,2	4,7	3,1	2,3	1,3
18	2,0	2,8	3,9	4,3	5,3	5,9	5,8	5,2	4,3	3,1	1,9	1,4
19	1,8	3,0	3,3	4,3	5,2	6,1	5,9	5,3	4,4	3,0	1,9	1,2
20	1,8	2,6	3,7	4,5	5,9	6,3	5,8	5,3	4,1	3,0	2,0	1,3
21	2,2	3,1	3,9	4,4	6,0	6,2	5,7	5,3	4,3	2,8	1,8	1,5
22	1,9	3,1	3,6	4,7	5,6	6,3	5,8	5,3	4,2	3,0	1,8	1,5
23	2,1	3,2	3,8	4,4	6,1	6,7	6,0	5,2	4,3	2,8	1,7	1,5
24	1,8	2,9	3,5	4,6	5,4	6,6	5,8	5,3	4,2	2,5	1,9	1,4
25	1,9	2,9	4,2	4,3	5,7	6,4	5,6	5,1	4,1	2,5	1,9	1,4
26	1,9	3,1	4,3	4,7	5,9	6,0	5,6	5,0	4,0	2,4	1,7	1,2
27	2,2	3,0	4,6	4,8	5,6	6,0	5,7	5,2	3,8	2,3	1,7	1,5
28	2,2	3,7	4,2	4,6	5,9	6,0	5,9	5,0	3,8	2,2	1,8	1,5
29	2,2	3,0	3,9	4,7	5,5	6,3	5,6	5,0	4,1	2,3	1,9	1,4
30	2,1		3,5	4,8	5,7	6,6	5,8	5,1	3,7	2,3	1,7	1,5
31	2,1		4,4		5,7		5,8	5,1		2,5		1,3
3,9/ 1423	54,0	78,4	116,5	132,6	167,1	185,2	185,1	166,7	134,1	96,2	62,7	44,0

Meteorolojik değişkenlerin iklim analizleri yapılırken veri kaynağının, edinilme ve işlenme yönteminin etraflıca irdelenmesi şarttır. Sentetik veya uzaktan algılama verisinde çalıştırılan algoritma ve yaklaşımın hata payı veri kalitesine doğrudan yansır. Gözlemde rasatçının eğitim ve tecrübesi ile çalışma koşulları tavsiye edilen asgari standartları sağlamak zorundadır. Ölçümde ise ölçüm cihazının seçiminden, kurulum ve işletimine, bakım ve kalibrasyonuna hatta ölçümün alınıp, kodlanıp, iletilip, depolanmasına kadar geçen tüm süreçlerde hataya açık bir durum söz konusudur. Özellikle yerleşim alanlarında şehirleşmeyle birlikte yapılaşma ve peyzaj süreçleri ölçüm noktasının uzun yıllar yöreyi temsil kabiliyetini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu etkinin değerlendirilmediği iklim analizleri yanıltıcı olur. Bu sebeplerle Iğdır için güneş enerjisi potansiyeli çalışması yapılırken hem sentetik ve uzaktan algılama verisi hem de şehirleşme etkisinde kalsa bile bu etki derecesi belirlenmek kaydıyla ölçüm verisinden yararlanılmıştır. Düzenli olarak tüm ilişkili meteorolojik değişkenlerdeki eğilim yönü ortaya konulabilmiştir. Küresel güneş ışıması değerlerinin de, ölçüm noktasında kısıtlayıcı etki altında bile, son 20 yıl seyrinde bir yükseliş eğilimi gözlenebilmektedir. Son yıllardaki ortalamanın altında çıkan yıllık değerlerde bu etkinin izleri vardır (Tablo 4-17 ve Şekil 4-31).

Tablo 4-17 Iğdır Güneşlenme süresi ve Küresel güneş ışıması, 1990-2009

Yıl	Güneşlenme süresi, Saat	Küresel güneş ışıması, kWh/m^2-yıl
1990	2444	1403
1991	2360	1411
1992	2268	1406
1993	2095	1396
1994	2246	1493
1995	2500	1442
1996	2340	1393
1997	2457	1460
1998	2567	1425
1999	2500	1337
2000	2477	1566
2001	2415	1510
2002	2421	1500
2003	2244	1367
2004	2544	1384
2005	2448	1362
2006	2477	1363
2007	2340	1328
2008	2279	1356
2009	2187	1349
Ortalama	2380	1413



Şekil 4-31 Iğdır Güneşlenme süresi ve Küresel güneş ışıması, 1990-2009

4.8. Iğdır'ın Uygulama Güneş Enerjisi Potansiyeli

Tüm kaynak ve yöntemlerden edinilen sonuçlar doğrultusunda bir noktanın veya bir bölgenin FV güneş elektriği potansiyelinden sayısal ifadelerle kati olarak bahsetmek mümkün değildir. Meteorolojik ve iklimsel koşullara bağlı olarak yıldan yıla salınım görülebilir. Yukarıda tek tek detaylıca incelenen ve Iğdır'a uygunluklarının ve/veya uygunsuzluklarının belirlenmeye çalışıldığı kısımlardan elde edilen sonuçlar derlenmiştir (Tablo 4-18).

Bu sonuçlardan yatırımcı, karar verici, bürokrat, mevzuat düzenleyen, girişimci, akademisyen, araştırmacı vb sıfatlarla anılan tüm FV güneş elektriği ilgilileri için kullanışlı üç ayrı veri seti oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu üç veri setinden birincisi ortalama /baz /esas beklentiyi verirken diğer ikisi muhtemel olumsuz /kötü /kötümser ve olumlu /iyi / iyimser senaryoları yararlanıcılara gösterebilmeyi hedeflemektedir. 2013 yılında yayınlanan ve güneş atlaslarının performanslarının da değerlendirildiği çalışmada, FV sistemlerin elektrik üretimleri güneş atlaslarında sunulan değerlerden % 10 daha fazla çıkmaktadır [69]. Tüm bu kaynaklar göstermiştir ki Iğdır için yıllık ortalama küresel güneş ışıması yatay yüzeyde (**Esas Senaryo**) **1636 kWh/m²-yıl** civarındadır. Bunun % 15 salınım göstermesi halinde **İyimser Senaryo**'ya göre **1881 kWh/m²-yıl** ve **Kötümser Senaryo**'ya göre **1391 kWh/m²-yıl** enerji kapasitesi oluşacaktır. Güneşlenme süresi için de benzer bir yaklaşımla 2600 saat/yıl Esas Senaryo, 3000 saat/yıl İyimser Senaryo ve 2200 saat/yıl Kötümser Senaryo olarak belirlenebilir.

GEPA'yı kaynak ve yöntem olarak esas alan ETKB'nin 2011 tarihli "Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri" duyurusundaki eşiğin, yalnızca Mardin, Karaman, Antalya, Van, Burdur, Mersin, Niğde ve Muğla gibi 8 il tarafından

aşılabildiği ve duyuruda FV güneş elektriği yatırımı yapılabileceği bildirilen 28 ilin hiç birisinin 1620 kWh/m²-yıl eşiğini aşamadığı unutulmamalıdır.

Bu haliyle Iğdır, küresel güneş ışıma kapasitesi 1636 kWh/m²-yıl eşiğini aşan ve FV güneş elektriği yatırımı karlı olabilecek bir il'dir. **ETKB tarafından açıklanacak Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri listesinde yer almalıdır.**

Tablo 4-18 Farklı kaynak ve farklı yöntemlere göre Iğdır'ın uygulamaya yönelik güneş enerjisi potansiyeli

Veri kaynağı	Güneşlenme süresi, Saat/yıl	Güneş ışıması, kWh/m²-yıl
NASA, Bird,	4425 (Açık gökyüzü)	2911 (Teorik)
GEPA	3350 (Türkiye'de en yüksek ikinci)	1493
		1600 (Iğdır'ın batısı, Tuzluca)
PVGIS		1618
		1824 (32° açıyla FV yüzey)
HelioClim		1610 (2005 yılı)
		1646 (2004 yılı)
NASA SSE	4456 (Açık gökyüzü)	1607 (ortalama)
		1864 (maksimum)
		2140 (Açık gökyüzü)
SOLARGIS		1600 (Türkiye haritası)
		1650 (İran haritası)
DMİ-EİE, 1983	2664	1365 (Doğu Anadolu Bölgesi)
		1311
DMİ, CAR modeli, 2009	2330	1625
DMİ, GWR modeli, 2009		>1625
MGM, 1970-2010	2394 (Ortalama)	1342 (Ortalama)
MGM, 1990-2010	2463 (Ortalama)	1423 (Ortalama)
	2832 (gölgeleme etkisinden arındırılmış ortalama)	1636 (gölgeleme etkisinden arındırılmış ortalama)
Esas Senaryo	**2600 saat/yıl**	**1636 kWh/m²-yıl**
İyimser Senaryo	**3000 saat/yıl**	**1881 kWh/m²-yıl**
Kötümser Senaryo	**2200 saat/yıl**	**1391 kWh /m²-yıl**

5. IĞDIR'IN FV GÜNEŞ ELEKTRİĞİNE YAPISAL UYGUNLUĞU

Yatırımcı, yatırım olanaklarını değerlendirirken hem mutlak hem de göreceli bir yaklaşım sergiler. Yalnızca ilgili bölge durumu değil, ülkedeki hatta çevre ülkelerdeki benzer yatırımların avantaj ve dezavantajlarını kıyaslayarak yatırım sahasına ve büyüklüğüne karar verir. Bu yaklaşımla daha önce Karapınar'da enerji ihtisas bölgesi kurulabilmesi için hazırlanmış fizibilite raporunda [72] geçen kriterler esas alınarak Iğdır için önerilen saha (Şekil 5-1)'nın karşılaştırılabilir parametreleri özetlenmiştir (Tablo 5-1). Bu şekilde Türkiye'de güneş enerjisi yatırımı için en yüksek potansiyeli barındırdığı kabul edilen Karapınar ile Iğdır'ın kıyaslanması mümkün olmuştur. Iğdır'ın yalnızca Doğu Anadolu Bölgesi için değil tüm Türkiye için FV GES yatırımlarına uygun bir İl olduğu tartışma götürmez.

5.1. Elektriksel Alt Yapı

Iğdır'da üretimden tüketime kadar elektrik zincirin halkalarını tek tek görmek, yakın gelecekte kurulması muhtemel FV GES'ler için hem teknik hem de moral bir alt yapı olacaktır. Mevcut durumda DSİ tarafından enerji üretmek amacıyla yapılan ve yap-işlet-devret (YİD) modeli uygulanan, şu anda işletmede olan 2 adet HES bulunmaktadır. 4 adet HES projesi de fizibilite aşamasındadır [96]. Gaziler HES Pemavut Çayı üzerinde 11,22 MW kurulu gücünde ve 50.000 MWh/yıl; Kiti HES 2,76 MW kurulu gücünde ve 12.000 GWh/yıl elektrik üretim kapasitesindedir. İşlemleri süren 5 santral ile birlikte toplam kurulu güç 120,6 MW'a, elektrik üretimi de 427.000 MWh/yıl'a çıkacaktır. İlde başka lisanslı ve lisanssız elektrik üretimi yapan tesis bulunmamaktadır. Türkiye toplam kurulu gücüne Iğdır'ın katkısı % 1'in altında kalmaktadır. Mevcut kurulu güç ile tüketiminin ancak yarısını karşılayabilmekte, kendi kendine yeten bir şehir olma vasfını kazanamamaktadır [97].

Iğdır enerji iletim hatları bakımından TEİAŞ 17. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü sorumluluğundadır. Iğdır trafo merkezi 14. tarife bölgesinde bulunmaktadır [98]. Sınırlarından:

954-116: 954 hat kesiti (MCM) -116 km;154 kV iletim hattı Kars'a (3 iletkenli)

477-87: 477 hat kesiti (MCM) -87 km; 154 kV iletim hattı Babek/Nahçıvan'a

477-41: 477 hat kesiti (MCM) -41 km; 154 kV iletim hattı Doğubeyazıt/Ağrı'ya yerüstü iletim hatları geçmektedir [99].

Tablo 5-1 Güneş enerjisi yatırımları için dikkate alınan parametreler ve Iğdır'daki değerleri

Yatırım kriteri	Parametre	Iğdır'daki değer
Konum	Yıllık toplam güneşlenme süresi	2600 saat/yıl
	Yıllık toplam güneş ışıması	1636 kWh/m2-yıl
İklim özellikleri	Atmosfer yoğunluğu (Bulut kapalılığı)	Düşük, 0-3 Okta*
	Akarsu yataklarına uzaklık	< 20 km
	Hava kirliliği	Şehir merkezinde yoğun
	Rüzgar potansiyeli	Düşük, 1,5 m/s
	İklim yapısı	Yarı kurak
	Nem oranı	% 51
	Denize uzaklık	Çok uzak
	Hava sıcaklığı	12,6 °C/yıl
Konumsal özellikler	Arazi eğimi	< % 2, Güneybatıdan Kuzeydoğuya**
	Deprem riski	2. derece deprem bölgesi
	Korunan alan	Ağrı Dağı Milli Parkı, Aras Karasu Taşkınları ile Korhan Yaylası, Karakoyunlu, Asma köy ve Kültepe Höyüğü siti
	Orman bölgesi	Orman alanı 8.241 ha
	Tarım bölgesi	Tarım alanı ise 118.525 ha, Sulanabilir tarım arazisi 97.041 ha, sulanan arazi 81.719 ha
	Mera sahası	Çayır-mera 146.571 ha
	Karayolu durumu	Iğdır-Kars ve Ermenistan, Nahçıvan, İran karayolu
	Havaalanı yakınlığı	< 10 km
	Askeri alan	Ülke sınırları, < 20 km
	Yerleşime uzaklık	~20 km
	Maden sahası	> 15 km, Tuzluca krom ve tuz, Aralık ve Suveren'de pomza
	Yükseltilere uzaklık	Ağrı Dağı < 80 km
	Kuş göç yolları	Kuş gözlem faaliyeti, < 30 km
Diğer	Yatırım izinleri	6. teşvik bölgesi
	Trafo ve iletim şebeke kısıtları	954-116: 954 hat kesiti (MCM) -116 km ;154 kV iletim hattı Kars'a (3 iletkenli) LÜY kapsamı dahil tüm trafo kapasiteleri boş
	Kamusal teşvikler, destekler, muafiyetler	Bkz.B:5.4
	Özel bölge durumu	Yok
	Yatırımcı girişimci durumu	Potansiyel yatırım sermayesi ve devlet teşvikleri
	Yatırım sermaye durumu	
	Finans kaynakları	Yerel ve yabancı sermaye ile hibe ve destekler
	Pazara yakınlık	Yerinde üretim ve tüketim
	Hammaddeye yakınlık	Yerinde kaynak ve üretim
	Sosyal ve kültürel çevre	Yeniliğe ve yatırıma açıklık

* x/8 üzerinden, [72]'ye uyumlu olarak.

** Tavsiye edilen alan (Şekil 5-1) için, 5000 m'de 1000 m rakımdan 900 m rakıma...

İl genelinde abone profili ağırlıklı olarak mesken tipidir. Mesken aboneliği 55.728 iken ticarethane 9.759, sanayi 2.361, tarımsal sulama 19, aydınlatma 638 ve Aras EDAŞ'a bağlı toplam abone sayısı 68.505'tir. 2015 yılında İlde AG'de 20 bildirimli kesinti yapılırken, OG'de kesinti sayısı 73 olmuştur. Ayrıca bildirimsiz olarak da AG'de 4.360, OG'de 2.246 dağıtım kesintisi yapılırken iletimde de 9 bildirimsiz kesinti yapılmak durumunda kalınmıştır. Hali hazırda 12 arızalı trafo bulunmaktadır [100].

TEİAŞ'ın aylık olarak yayınladığı Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik Kapsamında Kapasite Tahsis Tablosu'nda Iğdır Trafo Merkezi için hiçbir GES ve RES başvurusuna Çağrı Mektubu verilmediği dolayısıyla Tahsis Edilen Maksimum GES+RES Kapasitesi (MW)'nin 0 olduğu bildirilmektedir [101].

5.2. Arazi Uygunluğu

2011 tarihli ETKB Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri belgesine göre Iğdır sınırları içerisinde ~13 km^2 FV GES alanı yatırım yapılabilir olarak görülmektedir. Müştemilatıyla birlikte 1 MW kurulum için 20.000 m^2 alana ihtiyaç duyulduğu varsayımıyla basit hesapla Iğdır'da 650 MW FV GES kurulumu yapılabilecek alan bulunmaktadır. Bu değer 600 MW açıklanan Türkiye lisanslı GES kapasitesinin tamamını karşılayacak bir büyüklüktür.

Bir FV GES kurulumu için uygun yer seçimi konusunda kesin kurallar olmamakla birlikte tecrübelere dayanılarak genel bir kriter listesi oluşturulabilir. Bu kapsamda bölgenin güneş enerjisi potansiyeli, yerel iklim durumu, topoğrafik yapısı, arazi kullanım durumu, şebeke bağlantısı, enerji tüketim bölgelerine yakınlığı, erişilebilirliği, su kaynakları, jeolojik yapısı, mülkiyet yapısı ve arazi fiyatları olmak üzere on temel kriter sayılabilir. Sistemin verimliği açısından bölgedeki güneş ışıma değerinin günlük en az 4,5 kWh/m^2 olması gerekmektedir [102]. Iğdır için de hesaplanan değer 4,5 kWh/m^2 dolayındadır.

Topoğrafik yapıda arazinin eğim durumu da santrallerin verimliliği açısından önem taşımaktadır. Farklı kaynaklar bu konuda farklı değerler vermekteyse de yer seçiminde en ekonomik eğim değerinin % 1 ile % 3 aralığı olduğu, % 3 üstü eğimli arazilerin verimli olmadığı kabul edilmektedir [103]. Ancak alternatif alan bulunamaması durumunda % 5 eğime kadar yer seçimi yapılabilmektedir [104]. Diğer taraftan % 0 eğimli tamamen düz araziler de su birikmesi ve tahliye problemleri nedeniyle tercih edilmemektedir [105].

Yer seçimi yapılacak alandaki doğal bitki örtüsü formasyonu, gölgelemeyi arttırmakta ve verimliliği düşürmektedir. Kayalık-taşlık arazi kullanımlarında zeminin sert yapısı kurulum maliyetini arttırdığından tercih edilmemektedir. Güneş enerjisi santrallerinin verimliliği açısından yer seçiminde şebeke bağlantısı da önemli bir faktördür. Yatırım yapılacak santral alanları ile iletim hatlarının çakışması durumu, şebeke bağlantısı açısından ideal yer seçimi olarak değerlendirilmektedir. Şebeke bağlantısı açısından uygun yer seçiminde şebeke bağlantısına olan uzaklık ve şebeke bağlantısının kapasitesi belirleyici olmaktadır. Mesafenin

uzak olması yeni iletim hatlarının inşa ve işletme masraflarını arttırmakta bu durum enerji üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Büyük ölçekli santrallerin ulusal şebeke ağına 10 km'den daha uzak mesafede olması tercih edilmemektedir. Daha küçük ve orta ölçekli üretim tesislerinde ise ulusal şebeke ağına olan 5 ile 10 km arasındaki mesafeler, yatırımın ekonomik verimliliği açısından yine tercih edilmemektedir [106].

Üretilen enerjinin uzak tüketim bölgelerine iletilmesi enerji kaybına neden olmakta ve iletimdeki kayıp oranı verimliliği düşürmektedir. Bu kapsamda yer seçimi çalışmalarında santralin verimliliği açısından enerji tüketim bölgelerine yakın olması tercih edilmekte ancak aynı zamanda enerji tüketim bölgelerinin neden olduğu olumsuz etkilerden sakınmak için uygun mesafeler belirlenmektedir. Bu bakımdan yer seçimi yapılacak bölgedeki hâkim rüzgâr yönlerinin ayrıntılı bir şekilde etüt edilmesi gerekmektedir.

Santralin inşa ve kurulum aşamasında gerekli malzemelerin ulaştırması ve inşaat faaliyetlerinin yürütülebilmesi için kamyon, iş makinesi vb. araçların kolayca faaliyet alanına erişebilmesi gerekmektedir.

FV panellerin verimliliğinde periyodik olarak yapılan temizleme işlemleri önemlidir. Bu bakımdan uygun yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarına yakınlık projenin ekonomik verimliliğini doğrudan etkilemektedir.

Faaliyet alanının zemin yapısı, yeraltı su seviyesi, toprak direnci ve zemin mukavemetine ilişkin koşullar yer seçiminde önemli kriterler olarak değerlendirilmektedir. Yine faaliyetin aktif fay hatlarına uzak olması da başka bir yer seçim kriteridir. Bu bakımdan alanda yapılacak jeoteknik araştırmalar ile sismik aktivite, erozyon, sel ve don duyarlılığına ilişkin değerlendirmeler yapılıp nihai yer seçim kararları verilmektedir.

Güneş enerjisi santrali kurulacak alanın mülkiyet yapısı ve arazi fiyatları da kurulum maliyetinde önemli faktörler olarak değerlendirilmektedir. Faaliyetlerin yer seçiminde kurulum maliyetleri enerji üretim maliyetlerini etkilediğinden çoğunlukla düşük arazi değerli alanlar tercih edilmektedir. Çok tapulu ve parçalı kadastral yapıdaki araziler de büyük ölçekli güneş enerjisi santralleri için tercih edilmemektedir.

Fiziki olarak orman toprağı olan bu alanların vejetasyonu santrallerin işletme süresi boyunca zarar görmektedir. Aynı şekilde makilik, fundalık, çayırlık, sazlık, bataklık vb. arazi kullanış biçimlerinde yapılan zemin temizliği, alanda bulunan vejetasyona kalıcı zarar vermektedir.

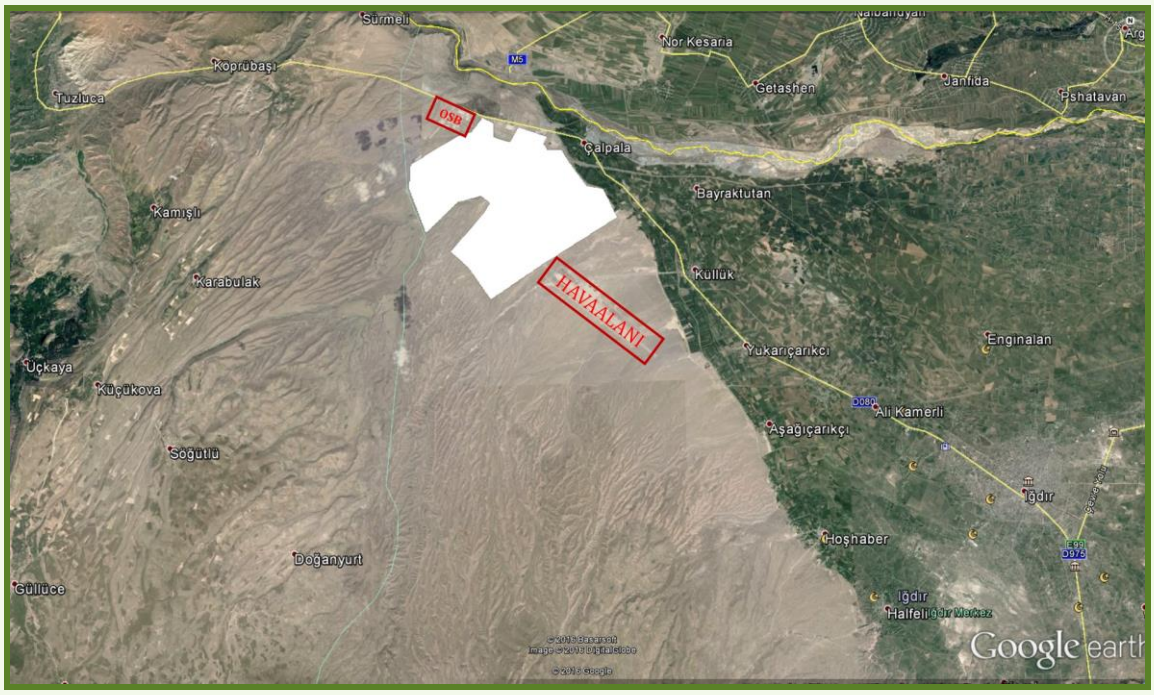
Erozyon riskinin olduğu alanlarda kurulacak güneş enerjisi santralleri erozyonu daha da artırdığından bu bölgelerde yer seçimi yapılmaması büyük önem taşımaktadır.

Bölgenin doğal yapısı itibariyle taşkın ve sel riskinin yüksek olduğu alanlarda kurulacak santraller o bölgede riski daha da arttırmaktadır. Doğal karakteri itibariyle korunması gereken; orman, ağaçlık, mera, otlak, makilik, fundalık, çalılık, çayırlık, sazlık, bataklık gibi

doğal bitki örtüsünün bulunduğu alanlar ile orman toprağı niteliğindeki alanlara güneş enerjisi santrali kurulması, bu alanların kaybedilmesi anlamına gelmektedir.

Bu alanlara ek olarak kıyı ve sahil bölgeleri ile kuru göl yatakları, nehir yatakları, tuzlalar ve deltalar biyolojik çeşitlilik ve ekosistem açısından hassas bölgeler kategorisinde yer almaktadırlar. Koruma altına alınmış arkeolojik, kentsel ve tarihi sit alanları ile bu alanların etki alanında veya yakınında güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde kaçınılması gerekmektedir.

Iğdır tüm bu kriterlere uygun, kısıtlardan muaf yeterince alana sahip görünmektedir. Yerleşim ve sanayi bölgelerinde çatılara kurulabilecek öz tüketimi karşılamaya yönelik GES'lerin yanı sıra özellikle batı kesiminde kalan, merkez ilçeden Tuzluca'ya, OSB ve Havaalanı boyunca uzanan ve tarımsal amaçla kullanılmayan eğimi uygun, ticari amaçlı elektrik üretimi yapmaya müsait arazilere sahiptir. Uydu fotoğrafından da açık bir şekilde görüleceği üzere tarım yapılan, yeşil tonlu alanlar şehir merkezinde ve ilin daha çok doğusunda, Aras Nehri çevresinde toplanmıştır. Yalnızca taralı alan bile 23 km^2'dir. Hiçbir teknik ve yasal kısıtı olmayan bu araziye 1000 MW'tan daha fazla FV GES kurulumu yapılabilir (Şekil 5-1)!



Şekil 5-1 Iğdır GES kurulumu için arazi uygunluğu

Arazi seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Arazi eğimi (eğim; yağışın 640 mm'nin altında olduğu yerlerde %8'den, 640 mm veya üzerinde olduğu yerlerde ise %12'den fazla olmamalıdır.)
- Toprak derinliği (toprak derinliği 50 cm'den az olmalıdır.)

- Arazinin doğusunda, güneyinde ve batısında güneşi engelleyecek tarzda yükseltilerin, yapıların, ağaçların olmamasına dikkat edilmelidir.
- Güneye eğimli veya düz ve engebesiz olmalıdır.
- Zemini kaya veya balçık yoğunluklu olmamalıdır.
- Bölgenin güneş enerjisi potansiyeli uygun olmalıdır.
- Sel, çığ, taşkın gibi doğal afetlerden etkilenmeyecek bir bölgede bulunmalıdır.
- Uygun bir dağıtım hattına veya merkezine yakın olmalıdır.
- Mevzi imarının yapılabilmesi için kadastro yolu olmalıdır.
- Araziye ulaşım kolay olmalıdır.
- Arazi yakınlarında özellikle tozlanmaya sebep olacak yapılar bulunmamalıdır.
- Panel temizliği için ihtiyaç duyulacak kadar suyun rahatlıkla temin edilebilecek yerde olması tercih edilmelidir.

Not: Güneş enerjisi santrali projesi geliştirmek isteyenlerin, proje alanında arazi devir işlemlerinin uygulamasını gerektiren durumlarda, Tarımsal Arazilerin Mülkiyetinin Devrine İlişkin Yönetmelik uyarınca devir işlemlerini uygulaması gerekir. Proje geliştirme aşamasında, devri söz konusu arazinin dâhil olduğu ilçede bulunan Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğünün bu konu hakkındaki görüşü alınabilir (*Dr.LY*).

Çatı seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Çatının uygun eğimli olması
- Çatının sağlam (statik ve dinamik yüke mukavemetli) olması
- Çatının etrafında gölgeye neden olacak, güneşi engelleyecek unsurların bulunmaması
- Çatının güney cepheli olması
- Çatının etrafında toz emisyonuna neden olan tesislerin olmaması gerekir.

Teknik olarak GES kurulumu yer tayininde ilave yapılması gerekenler de şu şekilde sıralanabilir:

- Zemin mekanik etüdü
- Zemin kimyasal etüdü
- Ortalama yağış rejimi
- Rüzgar karakteristikleri
- Kar/buz yükü
- Gölgelenme analizi
- Yıllık enerji üretim analizi
- Panel yerleşim planı
- Evirici yerleşim planı

Yatırım kararlarının verilmesinde karlılık oranlarının enbüyüklenmesinin yanı sıra, teknik, ekonomik, sosyal ve yasal risklerin enküçüklenmesi de önemli bir ölçüttür.

5.3. Çevresel Etki Değerlendirme

Anayasamıza göre "*herkes sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşın görevidir*". Ülke kalkınması ve sanayileşme kaliteli ürün veya hizmeti en güncel gelişmiş teknolojiyi kullanarak ve ülke çıkarlarına ağırlık vererek üretmek ile olur. Doğal kaynaklar kullanılamaz hale gelirse sanayileşmeden söz edilemeyeceği gibi insanların beslenmeleri ve hatta yaşayabilmeleri bile söz konusu olamaz. Bu kaygılarla yürürlüğe konmuş Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği FV GES tesislerinin kurulumları öncesinde de göz önünde bulundurulması gerekir.

Yönetmelik kapsamında Alınması Öngörülen Belge için bir parselde aynı tüzel kişiliğe ait **kurulu gücü toplamı 1 MW** ve üzerinde olan arazi tipi lisanssız elektrik üretimi başvurularında, kurulması planlanan üretim tesisine ilişkin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'ne veya Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ÇED kararına ilişkin başvuru yapılır. Çatı tipi uygulamaya dayalı başvurular için bu adım uygulanmaz.

Kurulu gücü 1-10 MWe arasında olan güneş enerjisi santralleri (çatı ve cephe sistemleri hariç) seçme eleme kriterlerine tabi projelerdir. ÇED Yönetmeliği Ek-2 kapsamında bulunan bu projeler için başvuru yapanlar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca yetkili kurum/ kuruluşlara ÇED Yönetmeliği Ek-4'te yer alan kriterlere göre belgelerini hazırlayıp Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğüne sunar. Bu kapsamda: Proje Tanıtım Dosyası hazırlatılır, Proje Tanıtım Dosyası ve eklerinde yer alan bilgi ve belgelerin doğruluğunu belirten taahhüt yazısı ve imza sirküleri ile birlikte başvuru bedelinin ödendiğine dair belge de sunulur. İl Müdürlüğü, Proje Tanıtım Dosyasını 5 (beş) iş günü içerisinde inceler, eksiklik olması halinde bu eksikliklerin giderilmesini talep eder. İl Müdürlüğü, on beş (15) iş günü içinde inceleme ve değerlendirmelerini tamamlar. Proje hakkında "*ÇED Gereklidir*" veya "*ÇED Gerekli Değildir*" kararını beş (5) iş günü içinde verir. Bu kararı Valiliğe, proje sahibine ve Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum/kuruluşlara bildirir. Valilik, bu kararı askıda ilan ve internet aracılığıyla halka duyurur.

Kurulu gücü 10 MWe üzeri güneş enerjisi santralleri için ÇED Raporu hazırlanması zorunludur. ÇED Raporu başvurusu Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na yapılır ve değerlendirme soncunda projeler için Bakanlık'ça "*ÇED Olumlu*" veya "*ÇED Olumsuz*" kararı verilir. "*ÇED Gerekli Değildir*" kararlarına yönelik başvurular Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerine, "*ÇED Olumlu veya Olumsuz*" kararlarına yönelik başvurular ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na yapılır. Üretim tesisinin kapasitesine bağlı olarak, temin edilecek belge değişiklik gösterebilir.

5.4. Teşvik ve Destekler

Yatırım kavramı değişik anlamlarda kullanılmaktadır. Ekonomide yatırım, milli gelirin yeni imalat üniteleri kurmak veya eskiyen üniteleri yenilemek için ayrılan kısmıdır. Girişimci için yatırım, parasal sermayenin ve imkanların üretim yapacak bina, makine ve teçhizata

dönüştürülmesidir. Finansman dilinde yatırım, gelir getirmeyen parasal varlığın daha az likit hale çevrilerek gelir getirir şekle dönüştürülmesidir.

Bir finansörün herhangi bir yatırıma finansal destek sağlayabilmesi belirli kriterlere bağlıdır. Bu kriterlerin başında finansman talep edilen yatırım önerisinin talep edilen borcu ve faizini zamanında ödeyebileceğinden emin olunması gelmektedir. Dolayısıyla en az riskle en iyi sürede yatırımın geri dönüşünün sağlanması finansör açısından en önemli kriter olarak ortaya çıkmaktadır. Bu risklerin tek başına girişimci tarafından karşılanmasını engellemek ve ihtiyaç duyulan bölgeye yeni yatırımlar çekebilmek adına kamusal teşvik ve destekler işletilmektedir.

Ekonomik anlamda teşvik kavramı, belirli ekonomik faaliyetlerin diğer faaliyetlere oranla daha fazla ve hızlı gelişmesini sağlamak amacıyla devlet tarafından sağlanan maddi veya gayri maddi destekler veya özendirmeler olarak tanımlanmaktadır. Teşviklerin çeşitli amaçları olmakla birlikte temel amacı ekonomik refah seviyesinin yükseltilmesidir. Teşvik sistemi, ülke sanayinin kurulması, geliştirilmesi, rekabet edebilir konuma gelmesi ve korunması açısından çok önemli bir işleve sahiptir. Kamu kaynaklarının ülke ekonomisi açısından önemli görülen alanlara ve uygun tedbirler aracılığıyla aktarılması teşvik sisteminin etkinliği açısından önem taşımaktadır [107]. Teşvik sistemi aynı zamanda bölgeler arası gelişmişlik farklılıklarını gidermek, istihdam artışı sağlamak ve işletmelerde yaratılan katma değeri yükseltmek amacıyla bir uygulama aracı olarak görülmektedir. Farklı ihtiyaçlardan dolayı yatırımlarda devlet yardımları uygulamasının sürdürülmesi adına Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Karar ile Bölgesel teşvik uygulamalarında illerimiz 2011 yılında Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanan Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Endeksi (SEGE) çalışması sonuçlarına göre gruplandırılarak teşvikler açısından altı bölgeye ayrılmıştır. Bu düzenlemeye göre TRA2 Düzey II Bölgesi ve Iğdır, bölgesel teşviklerin en fazla sunulduğu 6. Bölgede yer almıştır. Bu kapsamda 6. Bölgede yapılan asgari 500.000 TL tutarındaki enerji yatırımları için genel teşviklerden faydalanabilmektedir. Bu teşvikler:

- KDV istisnası,
- Gümrük vergisi muafiyeti (İthal FV panelleri hariç) ve
- Gelir vergisi stopajı desteğidir.

Teşvik sistemi uygulamaları haricinde ilde yer alan çeşitli destek mekanizmaları da bulunmaktadır. Farklı tarihlerde farklı kapsamlarda farklı sektörlerin (sanayi, tarım, hizmet gibi) bir parçası olarak düşünülen güneş elektriği yatırımlarına uygulanan bu teşvik ve desteklerin güncel olarak ilgili kurumdan takip edilmesi uygun olacaktır (Tablo 5-2).

Tablo 5-2 Iğdır için yararlanılabilecek kamusal teşvik ve destekler

Kurum	Teşvik / Destek	İletişim
SERKA	Mali Destekler: • Doğrudan Finansman Desteği • Faiz Desteği ve Faizsiz Kredi Desteği	www.serka.gov.tr
	Teknik Destek	www.kosgeb.gov.tr
KOSGEB	KOBİ Proje Destek Programı	
	Tematik Proje Destek Programı	
	İşbirliği Güçbirliği Destek Programı	
	AR-GE, İnovasyon ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı	
	Genel Destek Programı	
	Girişimcilik Destek Programı	
	Gelişen İşletmeler Piyasası KOBİ Destek Programı	
	Kredi Faiz Desteği	
İŞKUR	Aktif İşgücü Piyasası Hizmetleri	www.iskur.gov.tr
	İşgücü Piyasası Enformasyon Hizmetleri	
	Pasif İşgücü Piyasası Hizmetleri	
Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Destekleri		www.tarim.gov.tr
Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı		www.sanayi.gov.tr
TÜBİTAK		www.tubitak.gov.tr
Aras EDAŞ	YEKDEM: 0,133 – 0,2 $c/kWh alım garantisi (10 yıl)	www.arasedas.com

YEKDEM, 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girmiş ya da girecek olan FV GES'lere 10 yıl süre ile uygulanabilmektedir. YEKDEM'in senelik işleyen bir mekanizmadır. YEKDEM'den faydalanmak isteyen üretim lisansı sahipleri 31 Ekim tarihine kadar EPDK'ya başvuruda bulunmak zorundadır.

Sadece lisanslı değil lisanssız FV GES'ler de ürettiği elektriği 10 yıl süre ile görevli tedarik şirketlerine satabilmektirler. Görevli tedarik şirketleri, Iğdır için Aras EDAŞ, ihtiyaç fazlası elektriği 0,133 $c/kWh fiyata satın alır. Ayrıca üretim tesisinde yerli aksam kullanılması ile bu fiyatlara YEK Kanunu Ek-II sayılı cetvelinde yer alan fiyatlar beş yıl süreyle ilave edilir. Bu şekilde Yerli Katkı İlavesi ABD Doları cent/kWh olarak sırasıyla a) PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı: 0,8; b) PV modülleri: 1,3; c) PV modülünü oluşturan hücreler: 3,5; d) İnvertör: 0,6; e) PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme: 0,6'dır. Böylece toplamda güneş elektriğinin şebekeye 200 $/MWh fiyatla satılma olanağı bulunmaktadır.

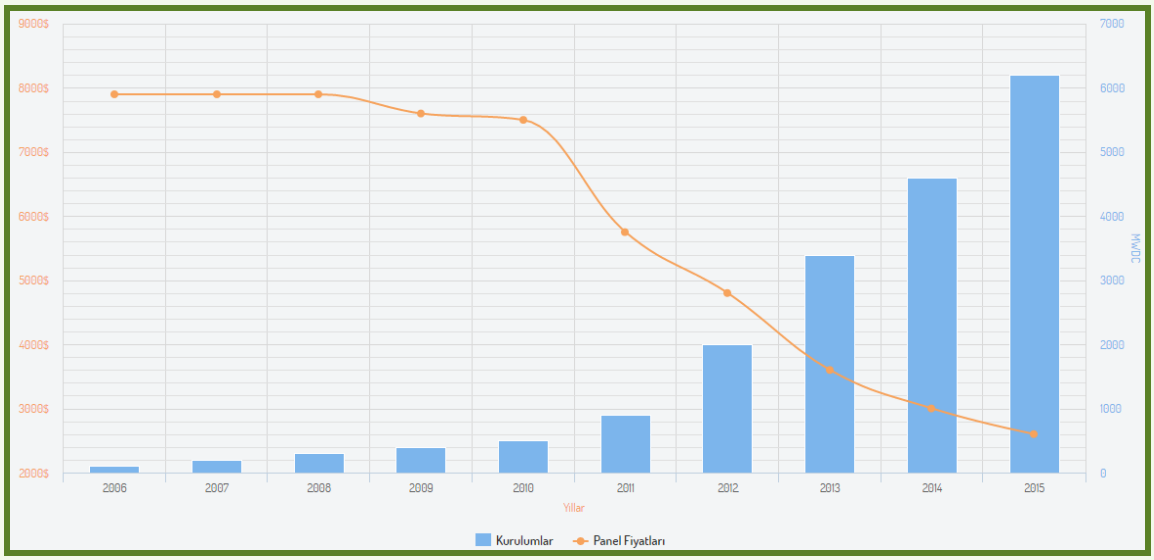
5.5. Finansal Analiz

Bir projenin toplam yatırım tutarını, Tesisin kurulabilmesi için gerekli sabit yatırımlar ve Tesisin işletilebilmesi için gerekli işletme sermayesi oluşturur. Bu aynı zamanda proje maliyetidir. Yatırımcıların FV GES projelerinin izin alma süreçleriyle uğraşırken değerlendirmeleri gereken en önemli hususlardan biri de projenin kârlılığıdır. Projenin gelir ve giderlerinin, kredi kullanılacaksa da faiz ödemelerinin hesaba katılarak projeye yatırılan paranın geri dönme süresinin hesaplanması gerekmektedir. Eğer bu değerlendirmeler sonucu yatırımcının kendi kıstaslarına göre proje makul bir geri dönüş süresine sahipse kaynak arayışına çıkılabilir. Kaynak arayışı sonunda projenin ne kadarının öz kaynaklardan, ne kadarının kredi ya da desteklerle yapılacağı ortaya çıkacaktır. Arazi tipi projelerde neredeyse proje maliyetinin % 90'lık kısmını FV paneller, eviriciler, montaj yapıları, kablolamaları içeren güneş santrali sistemi oluşturmaktadır. Çatı tipinde ise bu bedel %97'nin üzerine çıkmaktadır. Bu bedellere kurulum ücretlerinin de dâhil olduğu göz ardı edilmemelidir (Tablo 5-3).

Tablo 5-3 GES sistem unsurları ve yatırım maliyeti içerisindeki payları

FV GES yatırım bileşenleri	Yatırım içerisindeki oranı
FV panel	% 50
Evirici	% 10
Sistem denge bileşenleri	% 10
Arazi	% 10
İnşaat	% 10
İşçilik	% 10

Bir FV GES projesinde sistemi oluşturan unsurların başında FV paneller gelir. Yatırım maliyetinin yaklaşık yarısının FV'lere ayrılacağı beklenir (Tablo 5-3). Diğer kalemlerde belirgin bir fiyat değişimi veya azalışı gözlenmezken, FV panel edinme maliyeti kullanım yaygınlığına bağlı olarak hızla azalmaktadır (Şekil 5-2). SolarPower Europe Raporu'na göre FV panel fiyatlarının uzmanların beklediğinden daha hızlı düşeceği beklenmektedir. Raporda Çin'de 2016 yılının ilk çeyreğinde en düşük üretim maliyeti Watt başına 37 $cent iken, modül üreticisi Canadian Solar'ın 2017 yılı sonu için üretim maliyeti hedefi Watt başına 32 $cent olarak açıklanmıştır. Teknolojinin gelişmesi de maliyetin daha çok düşmesine katkıda bulunacaktır. Böylece kristal ve ince film modüllerin verimleri her gün daha iyiye gidecek [12] ve aynı büyüklükteki alandan daha çok elektrik üretmek mümkün olacaktır.



Şekil 5-2 FV panellerin son on yıldaki maliyet (kW/$) ve kurulu güç (MW) seyri

Güneş elektriği fosil yakıtlardan üretilen elektriğe karşı her gün daha rekabetçi hale gelmekte, çoğu ülkede güneşten üretilen elektriğin maliyeti perakende fiyatlarının altına inmektedir. Ayrıca bazı ülkelerde güneşten üretilen elektrik karasal rüzgar santrallerinden üretilenden artık daha ucuzdur. GES'ler giderek daha rekabetçi hale geliyor. Hatta bazı yerlerde geleneksel santrallerden daha düşük maliyetlere ulaşılmış durumdadır. Raporda buna örnek olarak 2016 ortalarında gerçekleşen kilovatsaat başına 2,99 dolar cent'lik ihale sonucu gösteriliyor [12].

FV GES Projelerinde kredi kullanımı oldukça yaygın bir finans yöntemidir. Bankalar kredi başvurusunda bulunan projeleri ekonomik, teknik ve çevresel açılardan inceler. Bu incelemeyi yapabilmek için de yatırımcıdan fizibilite raporu isterler. Fizibilite raporu Yatırımcı ve Projenin tanıtımının yanı sıra sahanın Şebekeye uzaklığı ve hatların kalitesi, Ekipman analizi, Ekipman tedarik ve performans anlaşmaları, Çevresel etki, Projenin sosyal etkisi ve Güncel yatırım maliyeti ile gelire göre finans analizi, projenin geri dönüş süresi gibi başlıklar üzerinden değerlendirmeye alınır. Bankalar tarafından beklenen, yatırımcının % 20-25 oranında öz sermaye ile projeyi yürütme hedefinde olmasıdır. Yenilenebilir enerji projelerinin finansmanında yaygın olarak ABD doları bazında kredilendirme % 3,5-4,5 faiz oranlarıyla uygulanmaktadır. Anapara geri ödeme süresi olarak da 7-10 yıllık bir süre tahsis edilir. Projenin devreye girmesinden sonra başlamak üzere 1-2 yıllık bir geri ödemesiz süre de verilebilmektedir.

Iğdır'da kurulması muhtemel 1 MW büyüklüğündeki bir FV GES için uygulanacak finansal analizin üç farklı senaryoda detaylandırılmış hali SENARYOLAR VE SİMÜLASYONLAR bölümünde gösterilmiştir.

6. SENARYOLAR VE SİMÜLASYONLAR

Iğdır'da muhtemel FV GES yatırımlarına dayanak teşkil edecek şekilde yapılan meteorolojik analizler sonucunda düzenleyici, yatırımcı, girişimci ve denetleyicilere yol gösterici olması bakımından bir "Esas Senaryo", bir "Kötümser Senaryo" ve bir de "İyimser Senaryo" hazırlığı yapılmıştır. Kötümser ve İyimser Senaryoların gerçekleşme olasılıkları düşük iken Esas Senaryonun gerçekleşme olasılığı kesinlikle daha yüksektir. 30 yıla yakın bir süre çalışması öngörülen FV GES'lerin bu uzun periyot içerisinde karşı karşıya kalabileceği, ihtimal dahilinde olunan senaryolar öngörülmeye çalışılmıştır. Yeri gelmişken, iklim değişikliğinden kaynaklı, Iğdır'ın Meteorolojik Analizleri (Bkz.B:2.2) kısmında da tespit edildiği üzere, bulutluluğun ve nemin azaldığı, dolayısıyla atmosfer geçirgenliğinin ve buna bağlı olarak güneşlenme süresi ve küresel güneş ışımasının miktar olarak artış eğiliminde olduğu gerçeği unutulmamalıdır. Bu eğilim Esas Senaryo'dan İyimser Senaryo'ya doğru bir gidiş olduğunun da göstergesidir.

Bu senaryolar birer simülasyonları oluşturulmak suretiyle kıyaslanabilir hale getirilmişlerdir. Bu amaçla FV sektöründe 20 yıldır tercih edilen bir simülasyon yazılımından yararlanılmıştır. Daha önce Türkiye koşullarında denenmiş [5], [69] olan PVSYST, çok fazla türde FV sistem özelliği seçme şansı tanıyan ve FV sistemin hemen tüm donanımı için detaylı bir veri bankasını bünyesinde bulunduran iyi tasarlanmış bir araçtır. FV sistemlerin ve ilgili donanımın geniş bir yelpazede detaylandırılarak tutulduğu veri bankalarından oluşur. Bünyesindeki algoritmalar (işlemsel süreçler) sıcaklık ve rüzgar gibi meteorolojik değişkenlerin yanı sıra, kablo omik kayıpları, geliş açısı değiştiricisi (incidence angle modifier, IAM) kayıpları, albedo, gölgelenme ve ufuk çizgisi etkilerinin tümünü dikkate alır. Şebeke bağlantılı, bağımsız, su pompaj ve DA şebekeli FV sistem türlerinde uzmanlaşmış güneş enerjisi araçlarının yanı sıra, gelişmiş meteoroloji ve FV sistem donanım veri bankalarına sahiptir. Çalıştırdığı algoritmalar, sıcaklık ve rüzgar etkisini, omik ve ışınım geliş açısından kaynaklı kayıpları, albedo ve ufuk değerlerini hesaba katmaktadır [108]. Yazılım mimarlar, mühendisler ve araştırmacılar için bu anlamda ideal bir araç ve görüntüleme arayüzüdür. Eğitim amaçlı yardımcı materyal olarak da kullanımı tavsiye edilmektedir. Hem dünyada hem de ülkemizde birçok akademik, ticari ve uygulama çalışmasında kullanım yaygınlığına ulaşmıştır [5].

Bu çalışmanın bir çıktısı niteliğinde olacak 3 farklı meteorolojik koşula göre tasarlanmış FV GES projeleri lisanslı PVSYST V6.47 versiyonuna göre asgari parametreler üzerinden incelenmiştir. Meteorolojik veri ise MGM'nin Iğdır Müdürlüğü rasat parkından 1970 yılından bu yana yapılan doğrudan günlük ölçümlerine dayandırılmıştır. Iğdır Tuzluca yolu üzerinde

OSB ve Havaalanı arasında kalan, FV GES kurulumları için teknik ve idari uygunluğu olduğu varsayılan saha koordinatları için senaryo simülasyonları çalıştırılmıştır. Tüm senaryolar için saha ve projelendirme tercihleri aynı kalmak koşuluyla küresel güneş ışımasındaki salınım farklılığına göre FV GES elektrik üretim performansı karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Tüm senaryolarda FV panellerin optimum kurulum açısı (çevresel engeller olmadığı ve zemin düz olduğu şartlarda Iğdır için sürekli geçerli) 35° hesaplanmıştır. GES sahasına gölgeleme etkisi yapacak ufki, doğal ve beşeri engel olmadığı kabul edilmiştir. Bu kabullerin yanı sıra, senaryoları karşılaştırabilmek adına tüm durumlar için aynı marka ve model donanım aynı büyüklüklerde kullanılmıştır. Yine donanım seçiminde Türkiye menşeili olanlara ayrıcalık tanınmıştır. FV panel için Gaziantep'te üretimi yapılan SolarTürk markasının 250 W gücündeki çoklu kristal silisyum paneli, evirici için de bir Kocaeli markası olan Mavisolar'ın 32 kWAC'lik modeli tercih edilmiştir. Referans teşkil edebilmesi açısından birim değerler üzerinden örnek çalışma yapmanın teknik ve mali anlaşılabilirliği bulunmaktadır. Bu sebeple senaryolar 1 MW kurulu gücünde bir FV GES oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece 250 W'lık FV panelden 4000 adet, eviriciden de 27 adet gerekecektir (Ek-1, Ek-2, Ek-3).

FV GES yatırımcılarının diğer yenilenebilir enerji yatırımcıları gibi yararlanabileceği bir diğer gelir (teşvik) mekanizması da **karbon kredisi** satışıdır. Yatırımcılar elektrikle birlikte karbon kredisi de üretebilir ve bu kredileri uluslararası piyasalarda karbon ayak izlerini azaltmak veya sıfırlamak isteyen işletmelere satarak ek gelir elde edebilirler. Bu teşvik mekanizmasının kuralları Birleşmiş Milletler Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism-CDM) kapsamında belirlenmiştir.

Yatırımcılar için örnek teşkil etmesi açısından karbon danışmanlığı hizmetleri veren Green Consult and Finance [109] firması tarafından Esas, Kötümser ve İyimser Senaryo'lara göre hazırlanan karbon kredisi gelir hesaplamaları aşağıdaki tablolarda (Tablo 6-1, Tablo 6-4, Tablo 6-7) verilmiştir. Tablolarda kullanılan emisyon faktörünün (EF) hesaplanması için güncel CDM araçları ve TEİAŞ verileri kullanılmıştır. Karbon kredisi birim fiyatı da Türkiye'nin ilk karbon kredileri ticaret platformu olan Carbomart [110] tarafından sağlanan güncel verileriler ışığında belirlenmiştir. Karbon kredisi fiyatları standart türü, onay yılı, proje ölçeği, lokasyon ve sağladığı çevresel, sosyal ve ekonomik katma değere göre belirlenmektedir. Yatırımcıların, piyasa değeri en yüksek standart olan Gold Standard kapsamında proje geliştirebilmeleri için yatırım ve inşaat aşamasından önce başvuru yapmaları gerekmektedir. Bu hesaplamalar 1MW kapasiteli bir tesis baz alınarak yapılmış olup 5 MW ve üzeri kapasiteli yatırımlar için karbon kredisi başvurusu yapılması tavsiye edilir.

6.1. Esas Senaryo

Meteorolojik analiz kısmında birden fazla parametrenin incelemesi sırasında belirlendiği üzere küresel iklim değişikliği sürecinden Iğdır da kendi payına düşeni almıştır. 1970-2010 yılları arasını kapsayan 40 yıllık periyot bilinçli olarak 4 parçaya bölünerek 10'ar yıllık dönemler halinde incelenmiştir. Burada tespit edildiği üzere 1970'li yıllardan itibaren düzenli

olarak 2010'lu yıllara doğru bir bulutluluk, nem azalırken; sıcaklık, yağış, güneşlenme süresi ve küresel güneş ışıması değişkenleri artmaktadır (Bkz.B:2.2). Günümüz ve yakın gelecek için bir iklim analizi yapılacağı zaman artık 1970 ve 80'li yılların etkisi göz ardı edilmeli; 1990 ve 2000'li yıllar dikkate alınmalıdır. Bu yaklaşımla bir baz senaryo olarak tasarlanan Esas Senaryo son 20 yıla ait iklim değişkenlerine dayandırılmıştır. Yine teknik tespit ve analizi yapıldığı üzere Iğdır için meteorolojik ölçüm referans noktasının beşeri unsurlarca maruz kaldığı kısıtları da gidermek adına Esas Senaryo'yu belirlemek için % 15 artış katsayısı kullanılmıştır (Bkz.B:4.7). FV GES tasarım, projelendirme ve fizibilite çalışmalarına esas teşkil edecek günlük, aylık ve yıllık ışıma değerleri yüksek doğrulukla hesaplanmıştır. Bu şekilde günlük 4,5 kWh/m² olan Esas Senaryo küresel güneş ışıması yıllık 1636 kWh/m²'dir. (Tablo 6-2).

Tablo 6-1 Esas Senaryo Gold Standard karbon kredi hesaplaması

Üretilen elektrik, MWh/yıl	EF	Elde edilen karbon kredisi miktarı, Tco_2/yıl	Karbon kredisi ortalama birim fiyat, €	Toplam piyasa değeri, €	Toplam piyasa değeri, $
1.642	0,59	968,78	6,12	5.929	6.560

Tablo 6-2 Esas Senaryo küresel güneş ışıması, kWh/m²

Gün/ Ortalama Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,7	2,5	3,8	4,8	5,7	6,9	7,1	6,4	5,9	4,3	3,1	2,0
2	1,5	2,8	4,0	4,1	5,4	6,2	7,3	6,4	5,9	4,3	2,9	1,8
3	1,6	2,4	3,9	3,9	4,9	6,9	7,3	6,5	5,6	4,3	2,8	1,9
4	1,5	2,9	4,4	4,7	5,5	7,3	7,0	6,6	5,6	4,3	2,8	1,7
5	1,3	2,6	4,1	5,1	5,9	6,8	7,0	6,5	5,6	4,5	2,6	1,8
6	1,6	2,4	3,9	5,3	6,4	6,9	7,3	6,4	5,6	4,3	2,7	1,8
7	1,7	2,7	3,9	5,3	6,3	7,1	7,1	6,4	5,6	4,5	2,6	1,5
8	1,7	2,7	3,9	5,1	6,2	7,2	7,0	6,1	5,5	4,2	2,8	1,5
9	1,8	2,9	4,2	4,5	5,6	7,0	7,0	6,2	5,2	4,3	2,4	1,3
10	1,8	3,0	4,3	5,6	6,3	7,1	6,9	6,3	5,4	4,1	2,2	1,5
11	1,7	2,8	4,3	5,5	6,1	7,2	7,2	6,2	5,5	3,9	2,3	1,7
12	1,9	3,2	4,1	5,4	5,8	7,3	7,4	6,4	4,9	3,7	2,6	1,7
13	1,8	3,0	4,5	5,7	5,9	7,5	7,1	6,7	5,0	3,8	2,6	1,6
14	2,1	2,8	4,1	5,3	6,3	7,1	7,2	6,6	5,3	3,5	2,5	1,6
15	1,8	3,0	4,2	4,8	5,8	7,1	6,7	6,5	5,3	3,5	2,7	1,5
16	2,1	3,1	4,5	4,7	5,9	6,7	6,7	6,2	5,4	3,7	2,5	1,8
17	2,1	3,5	4,7	4,4	6,5	7,1	6,5	6,0	5,4	3,5	2,6	1,5
18	2,3	3,2	4,5	4,9	6,1	6,8	6,6	6,0	5,0	3,5	2,2	1,6
19	2,0	3,4	3,8	5,0	6,0	7,1	6,8	6,1	5,1	3,4	2,2	1,4
20	2,0	3,0	4,3	5,2	6,8	7,3	6,6	6,1	4,7	3,4	2,3	1,5
21	2,5	3,6	4,5	5,1	6,8	7,1	6,6	6,1	4,9	3,2	2,1	1,7
22	2,2	3,6	4,1	5,4	6,5	7,2	6,7	6,1	4,9	3,4	2,1	1,8
23	2,4	3,7	4,4	5,1	7,0	7,7	6,9	6,0	5,0	3,3	2,0	1,7
24	2,1	3,3	4,1	5,3	6,3	7,6	6,7	6,1	4,8	2,8	2,1	1,6
25	2,2	3,3	4,8	5,0	6,5	7,4	6,4	5,9	4,7	2,9	2,2	1,6
26	2,2	3,6	5,0	5,4	6,8	6,9	6,5	5,7	4,6	2,7	2,0	1,4
27	2,5	3,4	5,3	5,5	6,5	6,9	6,6	6,0	4,4	2,7	2,0	1,7
28	2,5	4,2	4,9	5,3	6,8	6,9	6,8	5,8	4,3	2,6	2,1	1,7
29	2,5	3,5	4,5	5,4	6,4	7,2	6,5	5,8	4,7	2,6	2,1	1,6
30	2,5	0,0	4,1	5,6	6,6	7,6	6,7	5,8	4,3	2,6	2,0	1,7
31	2,4	0,0	5,0	0,0	6,5	0,0	6,7	5,9	0,0	2,8	0,0	1,6
4,5/ 1636	62,1	90,1	133,9	152,5	192,1	213,0	212,9	191,7	154,2	110,6	72,1	50,6

Yıllık küresel güneş ışıması (GlobHor) 1631 kWh/m² olan Esas Senaryo'ya göre % 13,25 verimlilikle (EffSysR) çalışan FV GES, panel yüzeyine gelen 1904 kWh/m²-yıl enerjiye (GlobInc) karşılık ısıl, kablo, panel, bağlantı vb kayıplara maruz kaldıktan sonra aylık detaylandırılarak net 1642 MWh/yıl'lık bir elektrik (E_Grid) sağlayabilecektir (Tablo 6-3).

Tablo 6-3 Esas Senaryo 1000 kW FV GES meteorolojik ve elektriksel sonuçlar, PVSYST

Aylar	GlobHor: Küresel güneş ışıması, kWh/m^2	T Amb: Hava sıcaklığı, °C	GlobInc: FV panele gelen enerji, kWh/m^2	E_Grid: Şebekeye verilen enerji, MWh	EffSysR: Verimlilik, %
Ocak	61,9	-3,9	100,4	96,6	14,8
Şubat	89,9	-0,10	136,6	127,7	14,4
Mart	133,6	7,0	173,8	156,0	13,8
Nisan	152,0	13,2	164,9	143,6	13,4
Mayıs	191,6	17,6	184,7	156,0	13,0
Haziran	212,3	22,3	197,1	162,0	12,6
Temmuz	212,2	26,0	203,3	164,3	12,4
Ağustos	191,1	25,9	200,3	161,2	12,4
Eylül	153,7	20,5	187,0	153,7	12,6
Ekim	110,3	13,8	155,5	135,0	13,3
Kasım	71,9	5,9	119,5	108,9	14,0
Aralık	50,4	-0,7	80,6	77,1	14,7
Yıllık	1630,9	12,4	1903,7	1642,1	13,2

Piyasadan günün koşullarına göre yaklaşık derlenmiş fiyatlandırma ile **elektrik maliyeti** 0,06 US$/kWh olacaktır (Ek-1). Türkiye'de güneş elektrik alım fiyatı 10 yıl süre ile YEKDEM kapsamında 0,133 US$/kWh olarak 10 yıl alım garantisine bağlanmıştır.

Bu koşullarda **tesis elektrik geliri**:

1642.000 kWh/yıl X 0,133 $/kWh = 218.386 $/yıl olur.

Tesis Gold Standard **karbon kredisi değeri**: 6.560 $/yıl

Tesis toplam geliri:

218.386 $/yıl + 6.560 $/yıl = 224.946 $/yıl olur.

Yıllık işletme maliyeti (% 2): 20.000 $/yıl

Yıllık işletme maliyeti toplam gelirden çıkarılırsa, **net gelir**:

224.946 $/yıl - 20.000 $/yıl = ~205.000 $/yıl olur.

Toplam yatırım bedeli vergiler dahil: 1.000.000 $

Yatırımın geri dönüş süresi:

1.000.000 $ / 205.000 $/yıl = ~5 yıl olur.

6.2. Kötümser Senaryo

Esas Senaryo bir ortalama değerler dizisi olarak kabul edilebilir. İklim hiçbir zaman tam çakışma ile kendisini tekrar etmez. Alt ve üst eşikleri uzun yıllar sürecinde belirlenir. Nadiren de olsa bu eşiklerin aşıldığı, uç değerlerin ölçüldüğü durumlar olabilir. İklim bilimciler tarafından bu uç değerlerin de oluşma sıklıkları yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Sürekli olarak uç değerler gerçekleşmez, gerçekleşse dahi bu ortalamanın o uca doğru kaydığı anlamına gelir. Bu çalışmada da muhtemel gerçekleşebilecek en kötü senaryo belirlenmeye çalışılmıştır. Esas Senaryo'nun yıllık toplamda % 15 düşüğünün gerçekleşme ihtimalinin bize Kötümser Senaryo değerlerini vereceği kabul edilmiştir. Bu haliyle günlük bazda Kötümser küresel güneş ışıması senaryosu oluşturulmuştur (Tablo 6-5).

Kötümser Senaryo'nun gerçekleşmesi durumunda, yıl boyu bulutluluk, yağış ve sis hadisesinin had safhada olması koşulunda, yataya gelen küresel güneş ışıması yıllık 1386 kWh/m^2, uzun yıllar sıcaklık ortalaması 12,4 °C ise sistemin % 13,3 verimliliğine karşılık şebekeye 1364 MWh/yıl'lık enerji verilebilir. FV panel yüzeyine gelen 1578 kWh/m^2-yıl'lık güneş ışıması % 12 kayba uğrar (Tablo 6-6).

Tablo 6-4 Kötümser Senaryo Gold Standard karbon kredi hesaplaması

Üretilen elektrik, MWh/yıl	EF	Elde edilen karbon kredisi miktarı, Tco_2/yıl	Karbon kredisi ortalama birim fiyat, €	Toplam piyasa değeri, €	Toplam piyasa değeri, $
1.364	0,59	804,76	5,50	4.426	4.897

Bu koşullarda elektrik maliyeti 0,07 $/kWh olarak hesaplanır (Ek-2).

Böylece **tesis elektrik geliri**:

1.364.000 kWh/yıl X 0,133 $/kWh = 181.412 $/yıl olur.

Tesis Gold Standard **karbon kredisi değeri**: 4.897 $/yıl

Tesis toplam geliri:

181.412 $/yıl + 4.897 $/yıl = 186.309 $/yıl olur.

Yıllık işletme maliyeti (% 2): 20.000 $/yıl

Yıllık işletme maliyeti toplam gelirden çıkarılırsa, **net gelir**:

186.309 $/yıl - 20.000 $/yıl = ~166.000 $/yıl olur.

Toplam yatırım bedeli vergiler dahil: 1.000.000 $

Yatırımın geri dönüş süresi: 1.000.000 $ / 166.000 $/yıl = ~6,0 yıl olur.

Tablo 6-5 Kötümser Senaryo küresel güneş ışıması, kWh/m² (1990-2010)

Gün/ Ortalama/ Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,4	2,2	3,3	4,1	4,8	5,9	6,1	5,5	5,0	3,6	2,6	1,7
2	1,3	2,4	3,4	3,5	4,6	5,3	6,2	5,5	5,0	3,6	2,5	1,5
3	1,3	2,1	3,3	3,4	4,2	5,9	6,2	5,5	4,7	3,7	2,3	1,6
4	1,3	2,4	3,7	4,0	4,7	6,2	5,9	5,6	4,8	3,7	2,4	1,5
5	1,1	2,2	3,5	4,4	5,0	5,8	6,0	5,5	4,8	3,8	2,2	1,5
6	1,3	2,1	3,3	4,5	5,5	5,9	6,2	5,4	4,8	3,7	2,3	1,5
7	1,4	2,3	3,3	4,5	5,4	6,0	6,0	5,4	4,7	3,8	2,2	1,3
8	1,5	2,3	3,3	4,4	5,3	6,1	6,0	5,2	4,7	3,6	2,4	1,2
9	1,5	2,5	3,5	3,8	4,8	5,9	6,0	5,3	4,4	3,6	2,0	1,1
10	1,5	2,5	3,7	4,7	5,3	6,0	5,9	5,4	4,6	3,5	1,9	1,2
11	1,5	2,4	3,6	4,7	5,2	6,1	6,1	5,3	4,7	3,3	2,0	1,5
12	1,6	2,7	3,5	4,6	4,9	6,2	6,3	5,4	4,2	3,2	2,2	1,5
13	1,5	2,6	3,8	4,9	5,1	6,4	6,1	5,7	4,3	3,3	2,2	1,4
14	1,8	2,4	3,5	4,5	5,3	6,0	6,2	5,6	4,5	3,0	2,2	1,3
15	1,5	2,6	3,6	4,1	4,9	6,0	5,7	5,5	4,5	3,0	2,3	1,3
16	1,8	2,7	3,8	4,0	5,0	5,7	5,7	5,3	4,6	3,1	2,1	1,5
17	1,8	2,9	4,0	3,8	5,5	6,0	5,5	5,1	4,6	3,0	2,2	1,3
18	2,0	2,7	3,8	4,2	5,2	5,8	5,7	5,1	4,2	3,0	1,9	1,3
19	1,7	2,9	3,2	4,2	5,1	6,0	5,8	5,2	4,3	2,9	1,8	1,2
20	1,7	2,6	3,7	4,4	5,8	6,2	5,6	5,2	4,0	2,9	1,9	1,3
21	2,1	3,1	3,9	4,3	5,8	6,0	5,6	5,2	4,2	2,7	1,8	1,4
22	1,9	3,0	3,5	4,6	5,5	6,2	5,7	5,2	4,1	2,9	1,8	1,5
23	2,0	3,1	3,7	4,3	5,9	6,5	5,8	5,1	4,3	2,8	1,7	1,5
24	1,8	2,8	3,4	4,5	5,3	6,4	5,7	5,2	4,1	2,4	1,8	1,4
25	1,9	2,8	4,1	4,2	5,5	6,3	5,5	5,0	4,0	2,4	1,9	1,4
26	1,8	3,0	4,3	4,6	5,8	5,8	5,5	4,9	3,9	2,3	1,7	1,2
27	2,1	2,9	4,5	4,7	5,5	5,9	5,6	5,1	3,8	2,3	1,7	1,4
28	2,1	3,6	4,1	4,5	5,7	5,8	5,8	4,9	3,7	2,2	1,8	1,4
29	2,2	3,0	3,8	4,6	5,4	6,1	5,5	4,9	4,0	2,2	1,8	1,4
30	2,1	0,0	3,5	4,7	5,6	6,5	5,7	5,0	3,7	2,2	1,7	1,5
31	2,0	0,0	4,3	0,0	5,6	0,0	5,7	5,0	0,0	2,4	0,0	1,3
3,8/ 1391	52,8	76,6	113,8	129,6	163,3	181,0	181,0	163,0	131,1	94,0	61,3	43,1

Tablo 6-6 Kötümser Senaryo 1000 kW FV GES meteorolojik ve elektriksel sonuçlar, PVSYST

Aylar	GlobHor: Küresel güneş ışıması, kWh/m²	T Amb: Hava sıcaklığı, °C	GlobInc: FV panele gelen enerji, kWh/m²	E_Grid: Şebekeye verilen enerji, MWh	EffSysR: Verimlilik, %
Ocak	52,6	-3,9	83,6	79,7	14,6
Şubat	76,4	-0,1	109,6	103,4	14,5
Mart	113,5	7,0	138,6	123,8	13,7
Nisan	129,2	13,2	137,6	119,8	13,4
Mayıs	162,8	17,6	157,1	133,2	13,0
Haziran	180,5	22,3	167,4	138,2	12,7
Temmuz	180,4	26,0	171,0	139,5	12,5
Ağustos	162,5	25,9	170,8	137,3	12,4
Eylül	130,7	20,5	155,9	129,7	12,8
Ekim	93,7	13,8	123,6	108,3	13,5
Kasım	61,1	5,9	96,9	88,1	14,0
Aralık	42,9	-0,7	66,3	62,8	14,6
Yıllık	1386,3	12,4	1578,2	1363,7	13,3

6.3. İyimser Senaryo

Esas Senaryo ile uzun yıllar gerçekleşmesi beklenen FV GES elektrik üretimi çok büyük bir ihtimalle tutturulacaktır. Ancak yıldan yıla olan iklimsel salınımın bir sonucu olarak, özellikle dış finansman ve yatırımın aylık getirisi ile borç ödenmesi yöntemlerinin tercih edildiği durumlarda, başa gelebileceklerin bilinmesi ve hazırlıksız yakalanmanın önüne geçilmesi adına İyimser ve Kötümser senaryoların çalışılması uygun olacaktır. Burada da Esas Senaryo'nun % 15 artırımlı İyimser Senaryo olarak sergilendiği durumda muhtemel kurulacak bir FV GES tesisisin ne kadarlık bir elektrik üretimi yapacağı günlük ve aylık bazda hesaplanabilmiştir. Günlük küresel güneş ışıması 5,1 kWh/m², yıllık ise 1881 kWh/m²'dir. (Tablo 6-8).

En iyi koşullarda (İyimser Senaryo) yatay yüzeye gelen küresel güneş ışıması Iğdır'ın hemen batısında kalan muhtemel FV GES sahası için 1876 kWh/m²-yıl olarak hesaplanmıştır. Bu durumda panel yüzeyinde 2248 kWh/m²-yıl'lık, şebeke çıkışında da 1926 MWh/yıl'lık bir elektrik elde edilir. Oldukça yüksek bu değerlerin gerçekleşmesi için son 40 yıldır değişen iklim koşullarının bu seyrinde bir müddet daha devam etmesi gerekecektir. En verimli ay olan Ağustos ayında, en düşük üretimin elde edildiği Aralık'ın iki katı kadar elektrik üretilir (Tablo 6-9).

Tablo 6-7 İyimser Senaryo Gold Standard karbon kredi hesaplaması

Üretilen elektrik, MWh/yıl	EF	Elde edilen karbon kredisi miktarı, Tco_2/yıl	Karbon kredisi ortalama birim fiyat, €	Toplam piyasa değeri, €	Toplam piyasa değeri, $
1.926	0,59	1.136,34	5,50	6.250	6.915

İyimser Senaryo koşullarında **elektrik maliyeti** 0,05 $/kWh'e kadar düşer (Ek-3).

Bu durumda **tesis elektrik geliri**:

1.926.000 kWh/yıl X 0,133 $/kWh = 256.158 $/yıl olur.

Tesis Gold Standard **karbon kredisi değeri**: 6.915 $/yıl

Tesis toplam geliri:

256.158 $/yıl + 6.915 $/yıl = 263.073 $/yıl olur.

Yıllık işletme maliyeti (% 2): 20.000 $/yıl

Yıllık işletme maliyeti toplam gelirden çıkarılırsa, **net gelir**:

263.073 $/yıl - 20.000 $/yıl = ~243.000 $/yıl olur.

Toplam yatırım bedeli vergiler dahil: 1.000.000 $

Yatırımın geri dönüş süresi:

1.000.000 $ / 243.000 $/yıl = ~4,1 yıl olur.

Tablo 6-8 İyimser Senaryo küresel güneş ışıması, kWh/m² (1990-2010)

Gün/ Ortalama/ Toplam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,9	2,9	4,4	5,5	6,6	7,9	8,2	7,4	6,7	4,9	3,5	2,3
2	1,8	3,2	4,6	4,7	6,3	7,2	8,4	7,4	6,8	4,9	3,3	2,0
3	1,8	2,8	4,5	4,5	5,6	8,0	8,4	7,4	6,4	5,0	3,2	2,2
4	1,8	3,3	5,1	5,4	6,3	8,4	8,0	7,6	6,5	4,9	3,3	2,0
5	1,5	3,0	4,7	5,9	6,8	7,8	8,1	7,5	6,5	5,2	3,0	2,0
6	1,8	2,8	4,5	6,1	7,4	7,9	8,4	7,4	6,5	5,0	3,2	2,1
7	2,0	3,1	4,5	6,1	7,3	8,2	8,2	7,3	6,4	5,2	3,0	1,7
8	2,0	3,1	4,5	5,9	7,1	8,3	8,1	7,0	6,3	4,9	3,3	1,7
9	2,1	3,4	4,8	5,1	6,5	8,0	8,1	7,1	6,0	4,9	2,8	1,5
10	2,1	3,4	5,0	6,4	7,2	8,2	7,9	7,3	6,3	4,7	2,6	1,7
11	2,0	3,3	4,9	6,3	7,0	8,3	8,2	7,1	6,3	4,4	2,7	2,0
12	2,1	3,7	4,7	6,3	6,7	8,4	8,5	7,4	5,7	4,3	3,0	2,0
13	2,1	3,5	5,2	6,6	6,8	8,6	8,2	7,7	5,8	4,4	3,0	1,9
14	2,4	3,2	4,7	6,1	7,2	8,1	8,3	7,6	6,1	4,1	2,9	1,8
15	2,1	3,5	4,9	5,5	6,6	8,1	7,7	7,5	6,1	4,0	3,1	1,7
16	2,4	3,6	5,2	5,5	6,7	7,7	7,7	7,2	6,2	4,2	2,9	2,0
17	2,4	4,0	5,4	5,1	7,4	8,1	7,4	6,9	6,2	4,1	3,0	1,8
18	2,7	3,6	5,2	5,6	7,1	7,9	7,6	6,9	5,7	4,0	2,6	1,8
19	2,3	3,9	4,3	5,7	6,9	8,1	7,8	7,0	5,8	3,9	2,5	1,6
20	2,3	3,5	4,9	6,0	7,8	8,3	7,6	7,0	5,5	3,9	2,6	1,8
21	2,8	4,2	5,2	5,8	7,9	8,1	7,6	7,0	5,6	3,7	2,4	2,0
22	2,5	4,1	4,7	6,3	7,4	8,3	7,7	7,0	5,6	3,9	2,4	2,0
23	2,8	4,2	5,1	5,9	8,0	8,8	7,9	6,9	5,8	3,8	2,3	2,0
24	2,4	3,8	4,7	6,0	7,2	8,7	7,7	7,0	5,5	3,3	2,5	1,8
25	2,5	3,8	5,5	5,7	7,5	8,5	7,4	6,7	5,4	3,3	2,6	1,8
26	2,5	4,1	5,8	6,2	7,9	7,9	7,4	6,6	5,3	3,2	2,3	1,6
27	2,9	3,9	6,0	6,4	7,4	7,9	7,6	6,9	5,1	3,1	2,2	2,0
28	2,9	4,9	5,6	6,1	7,8	7,9	7,8	6,6	5,0	3,0	2,4	1,9
29	2,9	4,0	5,1	6,2	7,3	8,3	7,4	6,7	5,4	3,0	2,5	1,9
30	2,8	0,0	4,7	6,4	7,6	8,8	7,7	6,7	5,0	3,0	2,3	2,0
31	2,7	0,0	5,8	0,0	7,5	0,0	7,7	6,8	0,0	3,2	0,0	1,8
5,1/ 1881	71,5	103,6	154,0	175,4	221,0	244,9	244,8	220,5	177,4	127,2	83,0	58,2

Tablo 6-9 İyimser Senaryo 1000 kW FV GES meteorolojik ve elektriksel sonuçlar, PVSYST

Aylar	GlobHor: Küresel güneş ışıması, kWh/m^2	T Amb: Hava sıcaklığı, °C	GlobInc: FV panele gelen enerji, kWh/m^2	E_Grid: Şebekeye verilen enerji, MWh	EffSysR: Verimlilik, %
Ocak	71,2	-3,9	124,2	119,4	14,8
Şubat	103,4	-0,10	165,3	153,1	14,2
Mart	153,6	7,0	202,5	179,9	13,6
Nisan	174,8	13,2	192,5	165,9	13,2
Mayıs	220,3	17,6	217,1	182,2	12,9
Haziran	244,2	22,3	226,6	184,1	12,5
Temmuz	244,0	26,0	232,5	185,6	12,3
Ağustos	219,8	25,9	234,7	187,1	12,2
Eylül	176,8	20,5	220,2	180,1	12,6
Ekim	126,8	13,8	187,7	161,8	13,2
Kasım	82,7	5,9	141,8	128,9	14,0
Aralık	58,0	-0,7	102,5	97,7	14,6
Yıllık	1875,6	12,4	2247,6	1925,8	13,1

7. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya FV pazarı incelendiğinde tüm elektrik talebinin % 5 oranında FV güneş elektriğince karşılanan ülke sayısı hızla artıp AB'de de 2020 yılında % 10'ların üzerine çıkılacağı hedeflenirken, 2016 Yaz'ı itibariyle Türkiye henüz bu istatistiki tablolara dahi girememektedir. Buna rağmen önümüzdeki 5 yıllık süreçte tüm dünyada en fazla yatırım potansiyeli barındıran ülkeler içerisinde Türkiye'nin 5. sırada olduğu uluslararası araştırma kuruluşlarınca tahmin edilmekte, hatta fazlaca iyimser bir tahminle 4 yıl içerisinde 8,5 GW'lık bir ek kurulum yapılacağı beklenmektedir. Şu bir gerçektir ki, 2000'li yılların başında yalnızca gelişmiş ülkelerin ilgi gösterdiği FV sektörü, 2010'lardan itibaren, yatırım maliyetleri düşüp verimliliğin artmasıyla birlikte, gelişmekte olan ülkeler tarafından domine edilmiştir, edilmeye devam etmektedir. Elektrik talep artış hızımız her yıl ortalama % 6'lar civarındadır. 2015 yılında 264 bin GWh'e ulaşan eletkrik tüketimi, sırasıyla oransal olarak % 40 doğalgaz, % 30 kömür, % 25 hidrolik ile karşılanmıştır. Bu artışı karşılayacak paralellikte bir kurulu güç sağlanamaz ise elektrik arzında dışa bağımlılık kaçınılmaz olur.

Türkiye'de enerji kullanımında karbon salımı şu an kişi başı 3,7 ton iken, 2050 itibariyle 0,6 tona düşürmek hedeflenmiştir. Hem bu hedefin tutturulması hem de enerji arz güvenliğinin sağlanması için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının bir an evvel yaygınlaşması gerekmektedir.

Türkiye hem taraf olduğu İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi gereği politik ve hukuki olarak hem de sosyo-ekonomik ve stratejik olarak genelde yenilenebilir enerji, özelde ise güneş enerjisine ilgi duymalıdır. Dünya bu yöne gitmektedir. Konvansiyonel enerji kaynağı yoksunu bir ülke olarak Türkiye, her yıl büyüyen enerji talebini karşılamak adına yerli, yeterli, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının arzını sağlamak durumundadır.

Uluslararası sözleşmeler gereği yayınladığımız ulusal belgelerde, yani iç politikamızda, "*temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak düşük karbon yoğunluğu sunan bir ülke olma*"yı hedeflemekteyiz. Bu hedefe ulaşmak adına "*Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının artırılmasının; güneş, biyokütle ve jeotermal kaynakların elektrik üretiminde kullanılmasına yönelik potansiyelin tam olarak tespit edilmesi; ve* ***Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) güncellenmesi;*** *güneş kaynaklarının birincil enerji amacıyla değerlendirilmesi için mevcut potansiyelin harekete geçirilmesi; yatırımcı farkındalığının arttırılması; özel sektörün önünü görmesi ve yatırımcılara ışık tutması ve arz güvenliği açısından planlama çalışmalarının yapılması* doğrultusunda **2016 Mayıs ayında yayınlanan**

65. Hükümet Programı'nda *Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımızın mümkün olan en üst düzeyde değerlendirileceği* ilgili kurum ve kuruluşlara ödev olarak verilmiştir. 2019 ulusal hedefimiz "***Güneş enerjisine dayalı kurulu gücün 3.000 MW'a çıkarılması***"dır. Ağustos 2016 itibariyle kurulu güç ancak 562 MW'tır!

SERKA TRA2 Bölgesi (Ağrı, Ardahan, Iğdır ve Kars) 2014-2023 Bölge Planı'nda *…alternatif enerji kaynak potansiyelinin yüksek olmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynak potansiyeline yönelik araştırmaların yapılmadığı* ve bunun ciddi bir eksiklik olduğu vurgulanmıştır. Bu eksikliğin giderilmesi adına *güneş enerjisi potansiyeli ve kullanım alanlarına yönelik araştırmalar yapılacağı, potansiyelinin tespit edileceği ve uygun yatırım alanları oluşturulacağı* taahhüt edilmiştir. **SERKA 2014 Yılı Çalışma Programı** ile *yenilenebilir enerjiye yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetleri planlanacağı, geliştirileceği ve paydaşlarla işbirliği içerisinde inceleme, rapor ve fizibilite çalışmaları yürütüleceği; raporların, ilgili sektörde faaliyet gösteren firmalara, kamu kurumlarına ve sivil toplum kuruluşlarına sunulacağı* planlanmış ve uygulamaya konulmuştur. **SERKA Iğdır'ın Sosyo-Ekonomik Durumu ve Uygun Yatırım Alanları Raporu'**nda Iğdır'ın güçlü yönleri ve fırsatlarından bahsederken güneş enerjisi potansiyelinden bahsedilmemektedir! Bu çalışma yayınlandıktan sonra artık güneş enerjisi potansiyeli de Iğdır için yatırım değerlendirmelerinde bir güçlü yön ve fırsat olacaktır.

ETKB 2011 yılında, Türkiye'de ilk kez, güneşten elektrik üretme için lisans sürecini, **Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri**'ni açıklayarak başlatırken, 600 MW'lık toplam kapasiteyi 36 ayrı il'e tahsis etmiş; Iğdır İli güneş enerjisi potansiyelinin yetersizliği gerekçesiyle maalesef bu tahsisli listede yer almamıştır. Verimli bir yatırım için -GEPA değerleri ile- yatay yüzeye gelen yıllık toplam güneş ışıması alt sınır değerini 1620 kWh/m^2-yıl olması gerektiği esas kabul edilmiştir. Ancak atlas incelendiğinde Mardin, Karaman, Antalya, Van, Burdur, Mersin, Niğde ve Muğla olmak üzere sadece 8 il merkezi bu kriterleri sağlamaktadır. Geriye kalan 28 ilin hiç birisi 1620 kWh/m^2-yıl eşiğini aşamamaktadır. Hatta ülke sıralamasında 1386 kWh/m^2-yıl'lık potansiyeliyle 67. sırada olan Diyarbakır ve 1399 kWh/m^2-yıl ile 65. sırada olan Erzurum dahi yatırım yapılabilir iller listesinde yer almıştır.

Güneş enerjisinin zaman boyutundaki sayısal büyüklüğünün söylenebilmesi için tahmin yöntemleri, uydudan uzaktan erişim, coğrafi bilgi sistemleri, modelleme, hesaplama ve doğrudan ölçüm yöntemlerinden en az birisine ihtiyaç vardır. Tartışılmaz bir gerçektir ki hiçbir tahmin yöntemi gerçek ölçümlerin yerini tutamayacaktır. Ölçüm haricinde geliştirilen yöntemler, gözlem ve ölçümün doğrudan yapılamayacağı şartlarda bilgi ihtiyacını karşılamaya yöneliktir. Güneş enerjisinden yüksek verimli faydalanabilmek için belirtilen yeri ve zaman aralığını temsil edecek doğru ve uygun güneş enerjisi bilgisine ihtiyaç vardır. Geçmiş döneme ait uzun süreli günlük ve hatta saatlik bazdaki güneş ışıması ölçümlerinden elde edilen analiz sonuçları FV sistem tasarımı için doğru bir öngörü sağlar. Ancak analizler sonucunda, Iğdır örneğinde olduğu gibi, düzenli bir değişim var ise son 10-20 yıllık dönem verileriyle çalışmak daha uygun olacaktır. FV güneş elektriği üretim sistemlerinin

boyutlandırılmasında, enerji üretim tahmininde, gölgeleme etkisinin belirlenmesinde, eğim açısı optimizasyonunda da bu saatlik veya günlük güneş ışıması ölçümleri esas teşkil etmektedir.

Güneşin ışık, ısı ve mekanik bir enerji kaynağı olması sebebiyle güneş enerjisi tabiri, dolayısıyla güneş enerjisi potansiyeli ifadesi oldukça geniş manada kullanılmaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli kavramı farklı amaçlar için farklı yöntemler ve detaylarda farklı araçlar ve birimlerle ifade edilebilmektedir. Bu çalışma, gayesi doğrultusunda FV yöntemle güneşten elektrik üretim enerjisi ve potansiyeline odaklanmıştır. Türkiye'nin ilk güneş enerjisi potansiyeli çalışması 1983 tarihlidir ve FV güneş elektriğinden ziyade ısıl (termal) yöntemle güneşten enerji sağlamaya yöneliktir. Piyasaya yön verme ciddiyetinden uzak, daha küçük çaplı hedefler güdülerek yapılmış çalışmalar da mevcuttur. En derli toplu yerel çalışma ise YEGM tarafından 2010 yılında hazırlanan GEPA'dır. Ayrıca ülkemizi de içerisine alan kıtasal çapta daha çok uzaktan algılama teknikleri kullanılarak hazırlanmış çalışmalar da mevcuttur.

GEPA, her ne kadar iller bazında güneş enerjisi potansiyelini kWh/m^2-yıl cinsinden ortaya koysa da, hazırlanış tarzıyla bir ulusal projedir. Uluslararası kabul görmüş bir model olan "ESRI Güneş Radyasyon Modeli" kullanılarak elde edilen GEPA aracılığıyla, güneş kaynak bilgileri ve güneş kaynak alanları kolaylıkla görülebilmekte, bu amaca yönelik ön fizibilite çalışmaları yapılabilmekte, güneş kaynak alanı arama amacıyla yapılan çalışmalar ortadan kaldırılarak zaman ve mali tasarruf sağlanmaktadır. GEPA'nın hazırlanmasında noktasal bazda ortalama % ± 10 hata payı ile bilgi üretilmiş ve bu bilgiler DMİ'nin 148 adet ve EİE'nin 8 adet uzun dönemli güneş ölçüm verileri ile doğrulanmış ve kalibre edilmiştir.

GEPA'yı üreten algoritma rakım yükseldikçe atmosfer tabaka kalınlığının azalacağı dolayısıyla doğrudan güneş ışımasının atmosferde kat edeceği yolun kısalacağı varsayımıyla çalışmaktadır. Bunun yanında üst seviyelerden deniz seviyesine yaklaştıkça atmosfer yoğunluğunun artması sebebiyle düşük rakımlarda atmosferin güneş ışınlarını emme, sıçratma ve yayma özelliğinin artacağı da bilimsel bir kabuldür. Nasıl ki rakımın azalmasıyla tabakanın kalınlaşması, kat edilen yolun uzayacağı ve güneş ışınlarının FV paneller üzerine erişiminde bir kısıtlama olacağı teknik olarak doğru ve güneş enerjisi potansiyelini düşürücü bir unsur ise; atmosfer yoğunluğunun artmasıyla yayılan ışımada bir artış olacağı da doğrudur. Bilimsel olarak kompleks bir durum söz konusudur. Rakımdaki bu değişikliğin tek başına artı veya eksi etki göstereceğine yönelik bir çıkarımda bulunmak yanıltıcı olabilir.

Nitekim harita üzerinde Iğdır gibi mikro-klima bölgesi olduğu bilinen ve denizden yüksekliği yalnızca 850 m'lerde olan bir bölge için GEPA'da hesaplanan güneş enerjisi potansiyeli gerçek değerlerden çok düşük görünmektedir. Denizden yüksekliği 2000 m'ler ve daha yukarısında olan Van-Hakkari ile Orta Toroslar bölgeleri yalnızca güney enlemlerinde ve yüksek rakımda olmalarından dolayı güneş enerjisi potansiyelleri en yüksek olarak değerlendirilmişlerdir. Oysa bu bölgeler yılın 6 ayı yoğun kar yağışına ve bulutluluğa maruz kalmaktadırlar. Iğdır ise Türkiye'nin en az yağış alan (256 mm/yıl) ve en az bulutluluğa maruz kalan, kışı neredeyse kar yağışsız geçiren bir mikro-klima bölgesi olmasına rağmen neredeyse Karadeniz bölgesine

eş değer bir potansiyel hesaplamasıyla karşı karşıya kalmaktadır. Iğdır il sınırları içerisinde bile bu ayrım rakıma bağlı olarak izlenebilir. Aras nehrinin yatağını içeren Aralık ilçesindeki Ermenistan sınırı boyunca, rakımın en düşük olduğu bölgelerde, neredeyse yıllık güneş radyasyonu 1400 kWh/m²'ye kadar düşerek Türkiye için belirlenmiş skalanın en alt eşiğine tekabül etmektedir. Dağlık kesimin başladığı Batıdaki Tuzluca bölgesinde ise denizden yükseklik arttıkça güneş radyasyon değerleri 1650 kWh/m²-yıl'ın üzerine çıkmaktadır. Bir uçtan bir uca 100 km mesafe olan bu iki ilçe arasında güneş ışımasının bu kadar değişkenlik göstermesi dikkate değerdir.

Güneşlenme şiddeti açısından GEPA haritasında Iğdır analiz edildiğinde Ekim-Mart dönemindeki 6 ay boyunca günlük şiddetin 4 kWh/m²'den az olduğu görülmektedir. Özellikle kış döneminde ışımanın beklenilenin altında görünmesi, ESRI modelinin algoritmasının rakım bazlı çalışma mantığıyla açıklanabilir. Türkiye'de denizden yüksekliği 1000 m üzerinde olan 24 il merkezinden 12'sinin, GEPA yıllık ışıma değerleri hesaplamasında ilk 24 arasında olduğu görülür. Oysa yine GEPA hesaplamasıyla, güneşlenme süresinde ilk 24 il incelendiğinde, rakım sıralamasındaki sadece 5 İl'in listede yer alabildiği görülecektir. Iğdır da güneşlenme süresi Türkiye sıralamasında 2. il olmasına rağmen rakımının 860 m gibi düşük bir rakımda olmasından kaynaklı olarak ışıma listesinde ilk 24'te yer almamaktadır.

Bu analizler açıkça ortaya koymaktadır ki, GEPA algoritmasının önemli çarpanlarından bir tanesi denizden yükseklikliktir. Bu sebeple ülkemizde rakımı yüksek olan merkezler için güneş ışıması değerleri yüksek hesaplanmıştır. Güneşlenme süresi sıralamasında 2. sıra gibi çok yüksek bir güneşlenme süresine sahip olsa da, denizden yükseklik sıralamasında 33. sırada bulunan Iğdır GEPA güneş ışıması sıralamasında 46. sırada görülmektedir.

Iğdır'ın arazi ve topoğrafik durumu incelendiğinde Merkez, Karakoyunlu ve Aralık ilçelerini kapsayan kuzey ve doğu kesimlerinin ova ve tarım arazisi olduğu; Tuzluca ilçesi ile OSB ve Havaalanını içerisine alan güney ve batı kesimlerinin ise tarıma elverişli olmayan toprak ve arazi vasfında olduğu görülür. Iğdır'ın daha çok batısında, Tuzluca istikametinde kalan bu bölgenin, Iğdır Merkez'den bağımsız olarak, GEPA'daki güneş enerjisi kapasitesi de 1600 kWh/m²-yıl olarak çıkmaktadır.

ETKB, GEPA'yı enerji şirketleri, iş dünyası, arazi ve konut sahipleri gibi geniş bir kullanıcı kitlesine güvenilir bir kılavuz olarak geliştirmiştir. Farklı sektörlerdeki farklı amaçlar ve yöntemler için güneş enerjisinin farklı kalitelerdeki türev verisine ihtiyaç duyulur. GEPA her ne kadar ulusal karar vericileri yönlendirmek için önemli bir temel veri kaynağı olsa da, tüm bu ihtiyaçları karşılamaya yapısı ve hassasiyeti uygun değildir. ETKB de bu gerekçelerle GEPA'nın geliştirilmesini, daha hassas ve daha kapsamlı hale getirilmesini planlamaktadır. GEPA'nın daha yüksek çözünürlüklü ve daha güncel veriler ile tekrar modifiye edilmesi için bir proje hazırlığındadır.

FV güneş elektriği potansiyeline yönelik politik karar vericiler için ulusal boyutta; yatırımcı ve girişimciler için de il bazında dikkate değer bir boşluk olduğu açıktır. Dünyada saygın

kuruluşlarca çalıştırılan ve sektörde kabul görmüş farklı FV güneş elektriği kapasite belirleme araçları bulunmaktadır. Bu Araştırma-Geliştirme çalışmasında farklı kaynak ve yöntemle geliştirilmiş araçlar tek tek irdelenerek Iğdır özelinde bir potansiyel kanaati oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bir FV sistem performans tahmini yapabilmek için solar radyasyon (güneş ışıması) verisine ihtiyaç vardır. Dünyada farklı güneş ışıması veri kaynakları bulunur. Hiç biri kusursuz değildir. Her birini incelerken güçlü ve zayıf yönlerini iyi ayırt etmek gerekir. 2010 sonbaharında çıkan PVGIS'in son versiyonu PVGIS-CMSAF'a göre solar radyasyon kaynakları Sahada doğrudan ölçümler ve Uydu verisinden hesaplamalar olmak üzere iki türlüdür. Bu veri CM-SAF tarafından sağlanan uydu görüntüleriyle hesaplamalara dayanmaktadır. Bu veri bankası 12 yıllık veriyi temsil eder. İlk Nesil Meteosat ve İkinci Nesil Meteosat uydularından temin edilmiştir. Yatay yüzeyde 1618 kWh/m^2-yıl iken tüm aylar için optimum açı olan 32 derecede FV paneller yerleştirildiği takdirde yıllık maruz olacağı güneş ışıması şiddeti 1824 kWh/m^2 olacaktır

Avrupa Komisyonu'nun DG XII, Joule II Programı kapsamında yürütülen bir Avrupa Güneş Atlası çalışması olan HelioClim FV güneş elektriğinden ziyade güneş mimarisi ve mühendisliğine veri üretmeyi hedeflemektedir. Veri kaynağı Meteosat (Avrupa), GOES (ABD) ve GMS (Japonya) gibi meteorolojik uydulardır. Doğrudan ölçüme dayanmamakla birlikte uydu verisiyle türetilmiş güneş haritalarının oluşturulmasında güneş ölçümleri ve diğer meteorolojik veriyi enterpolasyon doğrulayıcısı olarak kullanmaktadır. Ortaya çıkan tabloda yıllar özelinde uydu izlemelerine dayanan FV güneş elektrik potansiyelleri hesaplamak mümkündür. Iğdır'ın yatay yüzeye gelen küresel güneş ışıması 2004 yılı için 1646 kWh/m^2-yıl çıkmaktadır.

NASA SSE 200'den fazla uydu temelli meteorolojik ve güneş enerjisi parametresinden yararlanarak, 22 yılı (1983 - 2005) temsil eden ortalama aylık kWh/m^2/gün cinsinden solar radyasyon verisi üreten bir sistemdir. Iğdır için ortalama yatay yüzeye gelen küresel güneş ışıması ortalama 1607 kWh/m^2/yıl'lık bir potansiyel ortaya çıkmaktadır. En kötümser durumda bile bu 23 yıllık süreç içerisinde gerçekleşmiş en düşük ışıma değerleri 1337 kWh/m^2/yıl'dır. Bu değeri anlamlandırmak için Almanya'nın en güneyinde bulunan FV kurulumlarıyla meşhur toplam kurulumun % 30'a yakınını barındıran Bavyera eyaletinin güneş enerjisi potansiyeli ortalamasının 1300 kWh/m^2/yıl olduğunu hatırlatmak yeterli olacaktır. Tüm koşulların güneş enerjisi açısından olumlu olması halinde ise elde edilebilecek kapasite 1864 kWh/m^2/yıl mertebesine çıkmaktadır. 39 derece açıyla yerleştirilmiş FV dizelerinin muhtemel elektrik üretimleri ise 1791 kWh/m^2/yıl gibi oldukça doyurucu bir kapasiteye işaret etmektedir.

SolarGIS 1994-2013 yılları arası yer ölçümlerini esas alan güneş ışıma verisine dayanarak hazırlanmış, FV güneş elektrik üretimine yönelik ışıma şiddetini atmosfer etkisini dikkate alarak hesaplamaya odaklanan internet tabanlı bir ara yüzdür. Iğdır için 1600 kWh/m^2/yıl değerlerinde bir gösterim söz konusudur. Bu hesaplama yönteminde de denizden olan

yüksekliğin bölgelerin ayırt edilmesinde etkili olduğu izlenebilmektedir. Ayrıca uydu temelli çalışan bu yöntemlerde yararlanılan uyduların konumları da önemlidir. Avrupa menşeili meteorolojik sabit yörüngeli uyduların konumu Afrika'nın kuzeybatı kıyılarıdır. Bu sebeple Türkiye'yi, özellikle de doğuda yer alan Iğdır'ı parallaks hatası ile izleyebildikleri gözden kaçırılmamalıdır. Türkiye'nin doğusunda konumlandırılmış başka bir uydunun Türkiye'nin doğu bölgelerini daha tutarlı izleyebilmesi beklenir. Nitekim Iğdır için doğu yaklaşımlı bakış olarak İran incelenebilir. Yine SolarGIS yöntemiyle oluşturulmuş İran küresel ışıma haritasında İran'ın kuzeybatısında kalan Iğdır'a sınır bölgelerinde güneş ışıma potansiyeli 1650 kWh/m^2/yıl civarında renk koduyla görüntülenmektedir. Bu kodlamanın da diğer araçlarla uyumlu olduğu söylenebilir.

MGM verileriyle yapılan çalışmalarda ise genel olarak 40 yıldan beri güneşlenmeye etki eden parametrelerin etkisinde düzenli bir azalma, güneşlenme süresi ve güneş ışıması değerlerinde de düzenli bir artma tespit edilmiştir. 1983 yılında EİE ve DMİ tarafından hazırlanan, Türkiye için güneş enerjisi potansiyeli belirleme çalışmasını derli toplu ilk yapan araştırma, ülkemiz güneş enerjisi potansiyelinin zamansal ve alansal dağılımının belirlenmesi konularını kapsamaktadır. Güneşlenme süresi ve şiddeti ölçümü yapan 54 istasyonun ölçüm verilerinin kullanılabilir olduğu tespit edilmiş, kalan 32 istasyon için Angström yöntemiyle veri türetilmesine gidilmiştir. Türkiye güneşlenme süresi 2640 saat/yıl, yıllık ortalama ışıma şiddeti, Iğdır için de aynı, yıllık 1311 kWh/m^2'ye tekabül etmektedir.

DMİ'nin 1971-2000 iklim periyodunda güneşlenme verisi ölçülen 157 iklim istasyonunun aktinograf verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada uygulanan yaklaşım, coğrafi değişkenlerin belli bazı noktalarda ölçülüp ve tüm alana ait tahmin haritası mekânsal enterpolasyon yöntemleri ile elde edilmesine dayanmaktadır. Haritalar, Lambert Conformal Conic projeksiyonunda ve ED50 Datumunda hazırlanmıştır. Güneş ışıması kapasitesini gösteren haritada ise Iğdır, Denizli, Konya, Karaman, Kahramanmaraş ve Van ile aynı sınıfta yer almakta; 1625 kWh/m^2-yıl'lık bir potansiyelden bahsedilmektedir.

Iğdır'ın astronomik hesapla, yıllık toplam teorik güneşlenme süresi ise 4425 saat'tir, Atmosfer etkisi olmaksızın Iğdır'a yılın 365 günü düşebilecek enerji miktarı yıllık toplam 2911 kWh/m^2; günlük 8 kWh/m^2'dir.

Bu araştırma için yapılan analizlere göre 1970'ten bu yana güneşlenme süresi yıllık ortalama 2394 saat iken, 1990'dan bu yana 2463 saat'e yükselmiştir. Ölçüm noktasındaki çevresel etkiler yansıtılınca Iğdır için güneşlenme süresi 2832 saat/yıl olarak belirlenmiştir. Yataya gelen küresel güneş ışıması ise son 40 yılda 1342 kWh/m^2–yıl iken son 20 yılda 1423 kWh/m^2–yıl'e çıkmıştır. Çevresel etkilerin giderilmesiyle bu değer 1636 kWh/m^2-yıl olarak tespit edilmiştir.

Iğdır İli'ne özel bu araştırmayla birlikte elde edilen sonuçlardan yararlanılarak yatırımcı, karar verici, bürokrat, mevzuat düzenleyen, girişimci, akademisyen, araştırmacı vb sıfatlarla anılan tüm FV güneş elektriği paydaşları için kullanışlı üç ayrı ihtimal üzerinde durulmuştur.

Bu üç ihtimalden birincisi ortalama esas beklentiyi verirken diğer ikisi muhtemel kötümser ve iyimser senaryoları yararlanıcılara gösterebilmeyi hedeflemektedir. Tüm bu kaynaklar göstermiştir ki Iğdır için yıllık ortalama küresel güneş ışıması yatay yüzeyde, **Esas Senaryo** için **1636 kWh/m²-yıl** civarındadır. **İyimser Senaryo**'ya göre **1881 kWh/m²-yıl** ve **Kötümser Senaryo**'ya göre **1391 kWh/m²-yıl** enerji kapasitesindedir. Güneşlenme süresi için de benzer bir yaklaşımla **2600 saat/yıl Esas Senaryo, 3000 saat/yıl İyimser Senaryo ve 2200 saat/yıl Kötümser Senaryo** olarak belirlenmiştir.

Üretilen bu elektriğin ihtiyaç fazlası, FV GES işletmeye geçtiği tarihten itibaren 10 yıl süre ile görevli tedarik şirketleri vasıtasıyla 0,133 $c/kWh fiyattan alınır. Ayrıca FV GES'te belgelendirilmiş yerli aksam kullanılmış ise YEK Kanunu Ek-II sayılı cetvelinde yer alan fiyatlardan beş yıl süreyle ilave edilir.

Bu çalışmanın bir çıktısı niteliğinde olan senaryo ve simülasyonların maliyet analizlerinde hesaplanan 5-7 $c/kWh'lik FV güneş elektriği maliyeti LCOE (Seviyelendirilmiş enerji maliyet analizi) bazında hesaplandığında 6-8 $c/kWh'e ulaşır. Bu değer bile IRENA'nın *Değişimin Gücü, Güneş ve Rüzgar Maliyet Düşüş Potansiyeli* raporunda [14] öngördüğü 2025 yılı 5-6 $c/kWh FV elektrik üretim tahmini değerinin, Iğdır koşullarında hemen hemen 2016 yılında yakalanabileceğini göstermektedir. Bunun yanında, FV GES yatırımcılarının diğer yenilenebilir enerji yatırımcıları gibi yararlanabileceği bir diğer gelir mekanizması da **karbon kredisi** satışıdır. Yatırımcılar elektrikle birlikte karbon kredisi de üretebilir ve bu kredileri uluslararası piyasalarda karbon ayak izlerini azaltmak veya sıfırlamak isteyen işletmelere satarak ek gelir elde edebilirler. 5 MW ve üzeri kapasiteli yatırımlar için karbon kredisi başvurusu yapılması tavsiye edilir.

Ülkemizde FV GES kurulumlarında çok hızlı bir artış görülmektedir. Henüz lisanslı bir FV GES işletmeye alınmamış olsa da LÜY kapsamında, 2015 yılında 185 bin MWh/yıl'lık elektrik üretimi şebekeye verilirken, Ağustos 2016 itibariyle 562 MW'lık kurulu güce erişilmiştir. Bu üretimin hemen tamamının ETKB tarafından güneş enerjisi için trafo kapasitesi açıklanmış illerde gerçekleşmiş olması dikkate değerdir. Yine LÜY kapsamında, yatırım niyetini göstermek adına, FV GES kurmak için en çok başvuru yapılan iller Konya, Karaman, Niğde, Nevşehir ve Aksaray'dır. Ağrı (17 MW), Ardahan (4 MW) ve Kars (17 MW) illerinde bile GES çağrı mektubu almak koşuluyla LÜY kapsamında başvuru yapılmışken, Iğdır için hiçbir girişimde bulunulmamış olması dikkat çekicidir!

Iğdır'ın toprak yapısı ve arazi kullanım verileri incelendiğinde 8 ayrı sınıf toprak sınıflandırmasına tabi olduğu görülür. İlk 4 sınıf toprakta daha çok tarımsal faaliyet yapılmaktadır. 5 ve 6. sınıf topraklar da çayır mera, otlak veya kuru tarım alanı olarak değerlendirilebilmektedir. 8. sınıf toprak yapısı ise daha çok tarım yapılmayan dağlık ve engebeli alanları işaret eder. FV GES kurulumu için uygun toprak sınıfının ise 7 olduğu değerlendirilmektedir. 7. sınıf toprak büyüklüğü 106.652 ha alanı ile ilin % 31'lik kısmını kaplar. Bu çalışmada çatı ve binaya entegre FV GES'ler haricinde kurulacak güneş tarlaları veya muhtemel Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) için hedef araziler 7. sınıf'tır.

Iğdır'ın meteorolojik analizleri değişken bazlı yapıldığında ortaya çok çarpıcı sonuçlar çıkmıştır. Son 60 yıldır sıcaklığın düzenli olarak artış göstermesi, doğrudan küresel ısınma ile ilişkilendirilebilir. 1950'lerde 11,6 °C olan ortalama sıcaklık 2010'lara geldiğimizde tam 1 °C'lik artış göstererek 12,6 °C'ye çıkmıştır. Bu önemsenmesi gereken bir durumdur! Sıcaklıktaki bu artış tek değildir. Nispi nem değerlerinde de 1970'lerde ölçülen ortalama % 65 oranları son yıllarda % 50'lere düşmüştür. Net olarak atmosferin güneş ışığını geçirme niteliğinin arttığı sonucuna varılabilir. (*Not: Diğer sektörler de bu analizlerden ders çıkarmalıdır. Örneğin yaş meyve-sebze üretiminin bol olduğu Iğdır Ovası'nda kuru gıda yaygın değildir. Yüksek nem gıda kurutmasına bugüne kadar şans vermemiştir. Ancak belki de nispi nemdeki bu düşüş Iğdır'da hem meyvelerde şeker birikimini artırmış hem de gıda kurutmasını artık mümkün kılmış olabilir; yüzyıllardır yerleşmiş alışkanlıklar, gelenekler bu süreçte değişime uğrayabilir! Dr.LY*).

Nispi nemdeki azalışa paralel olarak bulut kapalılığı da son 40 yılda düzenli olarak azalmakta 5/10'dan 4/10'a gerilemektedir. Her iki parametrenin de güneş ışınlarının yere ulaşmasına doğrudan etki yapması; bunlardaki azalışın, güneşlenme süresi ve yatay küresel güneş ışıması değerlerini artırması beklenir. Nitekim 1980'lerde 6,3 saat/gün olan güneşlenme süresi 2000'lerle birlikte 6,7 saat/gün'e yükselmiştir. Küresel güneş ışıması da 70'lerde 3,42 W/m^2-gün iken, 80'lerde 3,48 W/m^2-gün'e, 90'lar ve 2000'lerde 3,9 W/m^2-gün'e doğru düzenli bir yükseliş eğilimindedir. Önümüzdeki yıllarda bu parametrelerde artışın bu şekilde sürmesi beklenmektedir.

Meteorolojik değişkenlerin iklim analizleri yapılırken veri kaynağının, edinilme ve işlenme yönteminin etraflıca irdelenmesi şarttır. Sentetik veya uzaktan algılama ile üretilen verilerde, çalıştırılan algoritma ve yaklaşımın hata payı veri kalitesine doğrudan yansır. Meteorolojik rasat'ı gözlem ve ölçüm oluşturur. Gözlemde, rasatçının eğitim ve tecrübesi ile çalışma koşulları, tavsiye edilen asgari standartları sağlamak zorundadır. Ölçümde ise ölçüm cihazının seçiminden, kurulum ve işletimine, bakım ve kalibrasyonuna hatta ölçümün alınıp, kodlanıp, iletilip, depolanmasına kadar geçen tüm süreçlerde hataya açık bir durum söz konusudur. Özellikle yerleşim alanlarında şehirleşmeyle birlikte yapılaşma ve peyzaj süreçleri ölçüm noktasının uzun yıllar yöreyi temsil kabiliyetini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu etkinin değerlendirilmediği iklim analizleri yanıltıcı olur. Bu sebeplerle Iğdır için güneş enerjisi potansiyeli çalışması yapılırken hem sentetik ve uzaktan algılama verisi hem de şehirleşme etkisinde kalsa bile, bu etki derecesi belirlenmek kaydıyla, ölçüm verisinden yararlanılmıştır. Düzenli olarak tüm ilişkili meteorolojik değişkenlerdeki eğilim yönü ortaya konmuştur. Küresel güneş ışıması değerlerinin de, ölçüm noktasında kısıtlayıcı etki altında bile, son 20 yıl seyrinde bir yükseliş eğilimi gözlenmiştir. Son birkaç yıl ortalamanın altında çıkan yıllık değerlerde bu etkinin izleri vardır.

Sonuç olarak, GEPA'yı esas alan ETKB'nin 2011 tarihli "Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri" duyurusundaki eşiğin, yalnızca Mardin, Karaman, Antalya, Van, Burdur, Mersin, Niğde ve Muğla gibi 8 il tarafından aşılabildiği ve duyuruda FV güneş elektriği yatırımı yapılabileceği bildirilen 28 ilin hiç birisinin 1620

kWh/m²-yıl eşiğini aşamadığı unutulmamalıdır. Bu çalışmanın çıktısı olarak Iğdır için yıllık ortalama küresel güneş ışıması değerleri:

- Esas Senaryo : 1636 kWh/m²-yıl;
- İyimser Senaryo : 1881 kWh/m²-yıl
- Kötümser Senaryo : 1391 kWh/m²-yıl'dır.

Karapınar Enerji İhtisas Bölgesi ilanı öncesinde hazırlanmış fizibilite raporunda [72] geçen kriterler esas alınıp Iğdır için önerilen saha'nın karşılaştırılabilir parametreleri incelenerek **Iğdır'ın FV güneş elektriği yatırımına uygun olduğu ortaya konmuştur**. Bu şekilde Türkiye'de güneş enerjisi yatırımı için en yüksek potansiyeli barındırdığı kabul edilen Karapınar ile Iğdır'ın kıyaslanması da mümkün olmuştur.

Iğdır'ın yalnızca Doğu Anadolu Bölgesi için değil tüm Türkiye için küresel güneş ışıma kapasitesi 1636 kWh/m²-yıl eşiğini aşan **FV GES yatırımlarına uygun bir İl** olduğu tescillenmiştir.

Iğdır, ETKB tarafından açıklanacak Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri listesinde yer almalıdır.

EKLER

Ek-1 Metosfer Iğdır Esas 1000 kW FV GES

Ek-2 Metosfer Iğdır Kötümser 1000 kW FV GES

Ek-3 Metosfer Iğdır İyimser 1000 kW FV GES

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

Geographical Site	**Igdir_Esas**		Country	**Turkey**
Situation	Latitude	40.0°N	Longitude	43.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	958 m
	Albedo	0.33		
Meteo data:	**Igdir_Esas**	Igdir_Esas - Synthetic		

Simulation variant : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

Simulation date 13/08/16 15h33

Simulation parameters

Collector Plane Orientation	Tilt	35°	Azimuth	0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics

PV module	Si-poly	Model	**Poly 250 w 60 Cells**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Solarturk Energy	
Number of PV modules		In series	23 modules	In parallel 174 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	4002	Unit Nom. Power 250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**1001 kWp**	At operating cond. 894 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	620 V	I mpp 1441 A
Total area		Module area	**6511 m²**	Cell area 5844 m²

Inverter		Model	**MSXI-3336-1**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Mavisolar	
Characteristics		Operating Voltage	150-800 V	Unit Nom. Power 32.0 kWac
				Max. power (=>40°C) 34.5 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	27 units	Total Power 864 kWac

PV Array loss factors

Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	7.3 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction -1.3 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

PVsyst Licensed to Meteosfer enerji muhendislik ve meteoroloji hiz. tic.ltd.sti.(Turkey)

Grid-Connected System: Main results

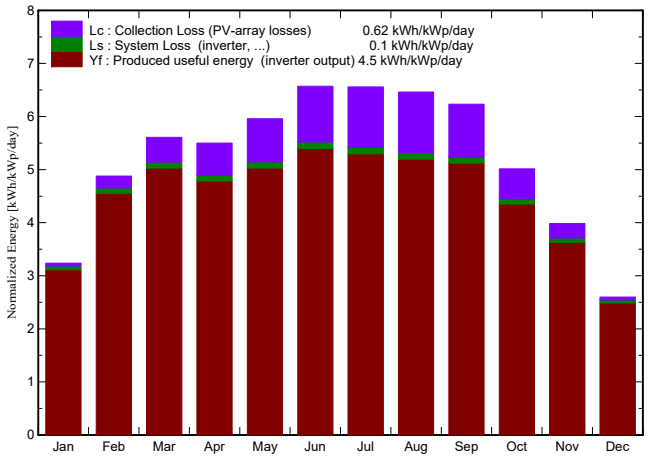
Project : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

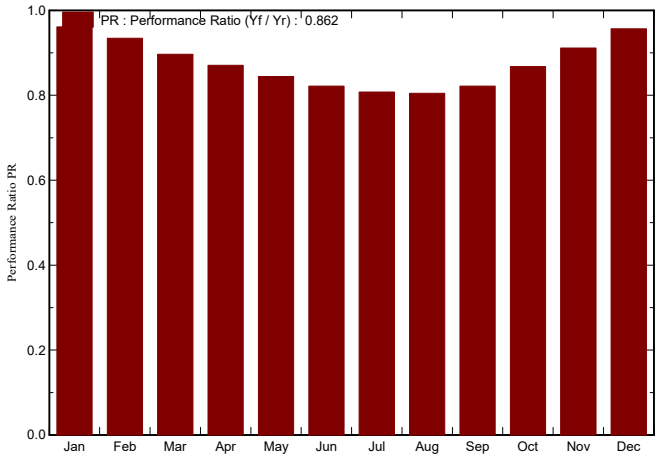
Main system parameters		System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation		tilt	35°	azimuth	0°
PV modules		Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array		Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter		Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs		Unlimited load (grid)			

Main simulation results					
System Production		**Produced Energy**	**1642 MWh/year**	Specific prod.	1641 kWh/kWp/year
		Performance Ratio PR	86.22 %		
Investment		Global incl. taxes	1000660 US$	Specific	1.00 US$/Wp
Yearly cost		Annuities (Loan 4.0%, 20 years)	73630 US$/yr	Running Costs	20000 US$/yr
Energy cost			**0.06 US$/kWh**		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1001 kWp



Performance Ratio PR



Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	61.9	-3.90	100.4	97.8	98.7	96.6	15.10	14.77
February	89.9	-0.10	136.6	133.3	130.4	127.7	14.67	14.35
March	133.6	7.00	173.8	169.4	159.5	156.0	14.09	13.78
April	152.0	13.20	164.9	159.8	146.9	143.6	13.68	13.38
May	191.6	17.60	184.7	178.6	159.6	156.0	13.28	12.97
June	212.3	22.30	197.1	190.5	165.7	162.0	12.91	12.62
July	212.2	26.00	203.3	196.8	168.1	164.3	12.70	12.41
August	191.1	25.90	200.3	194.3	164.9	161.2	12.64	12.36
September	153.7	20.50	187.0	182.0	157.2	153.7	12.91	12.63
October	110.3	13.80	155.5	151.7	137.9	135.0	13.63	13.33
November	71.9	5.90	119.5	116.6	111.4	108.9	14.32	14.00
December	50.4	-0.70	80.6	78.3	78.9	77.1	15.05	14.70
Year	1630.9	12.36	1903.7	1849.2	1679.3	1642.1	13.55	13.25

Legends:				
GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

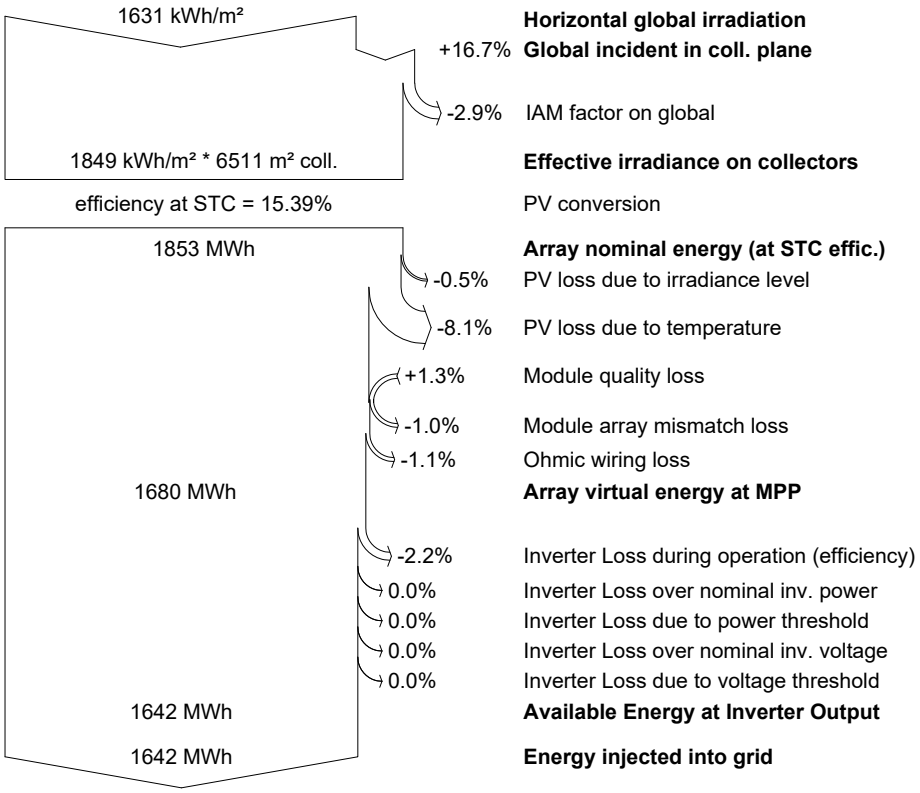
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



Grid-Connected System: Economic evaluation

Project : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Investment

PV modules (Pnom = 250 Wp)	4002 units	106 US$ / unit	424012 US$
Supports / Integration		42 US$ / module	170005 US$
Inverters (Pnom = 32.0 kW ac)	27 units	4704 US$ / unit	127000 US$
Settings, wiring, ...			127000 US$
Substitution underworth			0 US$
Gross investment (without taxes)			**848017 US$**

Financing

Gross investment (without taxes)		848017 US$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %	152643 US$
Gross investment (including VAT)		1000660 US$
Subsidies		0 US$
Net investment (all taxes included)		**1000660 US$**
Annuities	(Loan 4.0 % over 20 years)	73630 US$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...		20000 US$/year
Total yearly cost		**93630 US$/year**

Energy cost

Produced Energy	1642 MWh / year
Cost of produced energy	0.06 US$ / kWh

PVsyst Licensed to Meteosfer enerji muhendislik ve meteoroloji hiz. tic.ltd.sti.(Turkey)

Grid-Connected System: CO2 Balance

Project : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

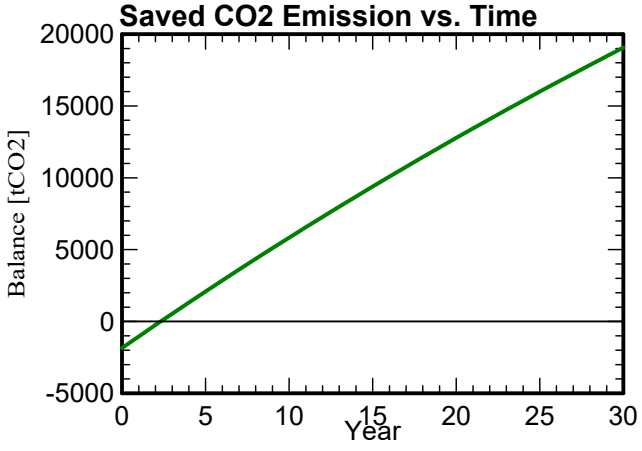
Simulation variant : **Metosfer Igdir Esas 1000 kW FV GES**

Main system parameters				
	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Produced Emissions	**Total:**	**1844.11 tCO2**		
	Source:	Detailed calculation from table below		
Replaced Emissions	**Total:**	**24090.0 tCO2**		
	System production:	1642.13 MWh/yr	Lifetime:	30 years
			Annual Degradation:	1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions:	489 gCO2/kWh		
	Source:	IEA List	Country:	Turkey
CO2 Emission Balance	**Total:**	**19057.9 tCO2**		

System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Supports
LCE	1713 kgCO2/kWp	3.26 kgCO2/kg
Quantity	1001 kWp	40020 kg
Subtotal [kgCO2]	1713576	130530



Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**			
Geographical Site	**Igdir_Kotumser**		Country	**Turkey**
Situation	Latitude	40.0°N	Longitude	43.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	958 m
	Albedo	0.33		
Meteo data:	**Igdir_Kotumser**	Igdir_Kotumser - Synthetic		

Simulation variant : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

Simulation date 13/08/16 15h38

Simulation parameters

Collector Plane Orientation	Tilt	35°	Azimuth	0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics

PV module	Si-poly	Model	**Poly 250 w 60 Cells**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Solarturk Energy	
Number of PV modules		In series	23 modules	In parallel 174 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	4002	Unit Nom. Power 250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**1001 kWp**	At operating cond. 894 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	620 V	I mpp 1441 A
Total area		Module area	**6511 m²**	Cell area 5844 m²

Inverter		Model	**MSXI-3336-1**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Mavisolar	
Characteristics		Operating Voltage	150-800 V	Unit Nom. Power 32.0 kWac
				Max. power (=>40°C) 34.5 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	27 units	Total Power 864 kWac

PV Array loss factors

Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	7.3 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction -1.3 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

PVsyst Licensed to Meteosfer enerji muhendislik ve meteoroloji hiz. tic.ltd.sti.(Turkey)

Grid-Connected System: Main results

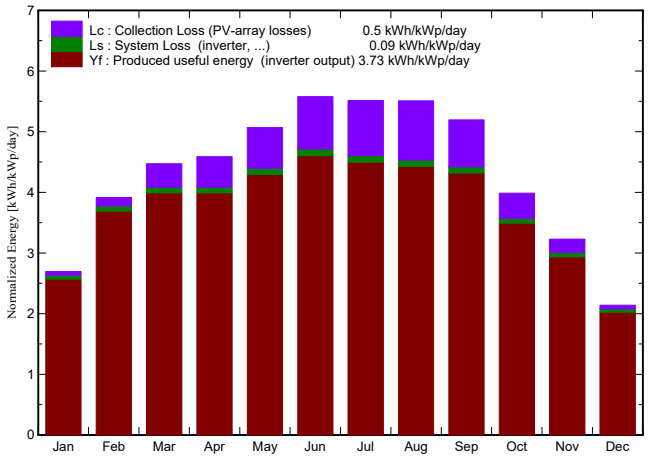
Project : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

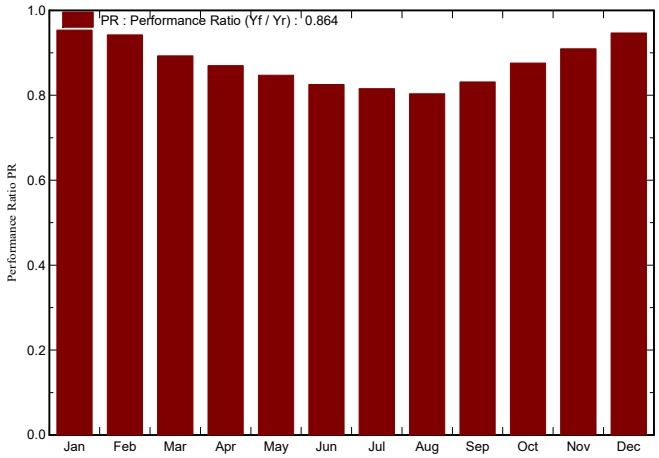
Main system parameters				
	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**1364 MWh/year**	Specific prod.	1363 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	86.37 %		
Investment	Global incl. taxes	1000660 US$	Specific	1.00 US$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 4.0%, 20 years)	73630 US$/yr	Running Costs	20000 US$/yr
Energy cost		**0.07 US$/kWh**		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1001 kWp



Performance Ratio PR



Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	52.6	-3.90	83.6	81.4	81.7	79.7	15.03	14.65
February	76.4	-0.10	109.6	106.9	105.7	103.4	14.81	14.48
March	113.5	7.00	138.6	134.8	126.8	123.8	14.05	13.72
April	129.2	13.20	137.6	133.3	122.7	119.8	13.69	13.37
May	162.8	17.60	157.1	151.8	136.4	133.2	13.34	13.02
June	180.5	22.30	167.4	161.5	141.5	138.2	12.99	12.69
July	180.4	26.00	171.0	165.1	142.8	139.5	12.83	12.53
August	162.5	25.90	170.8	165.5	140.6	137.3	12.64	12.35
September	130.7	20.50	155.9	151.5	132.7	129.7	13.08	12.78
October	93.7	13.80	123.6	120.1	110.8	108.3	13.76	13.46
November	61.1	5.90	96.9	94.4	90.3	88.1	14.32	13.97
December	42.9	-0.70	66.3	64.4	64.5	62.8	14.93	14.55
Year	1386.3	12.36	1578.2	1530.5	1396.4	1363.7	13.59	13.27

Legends:				
GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

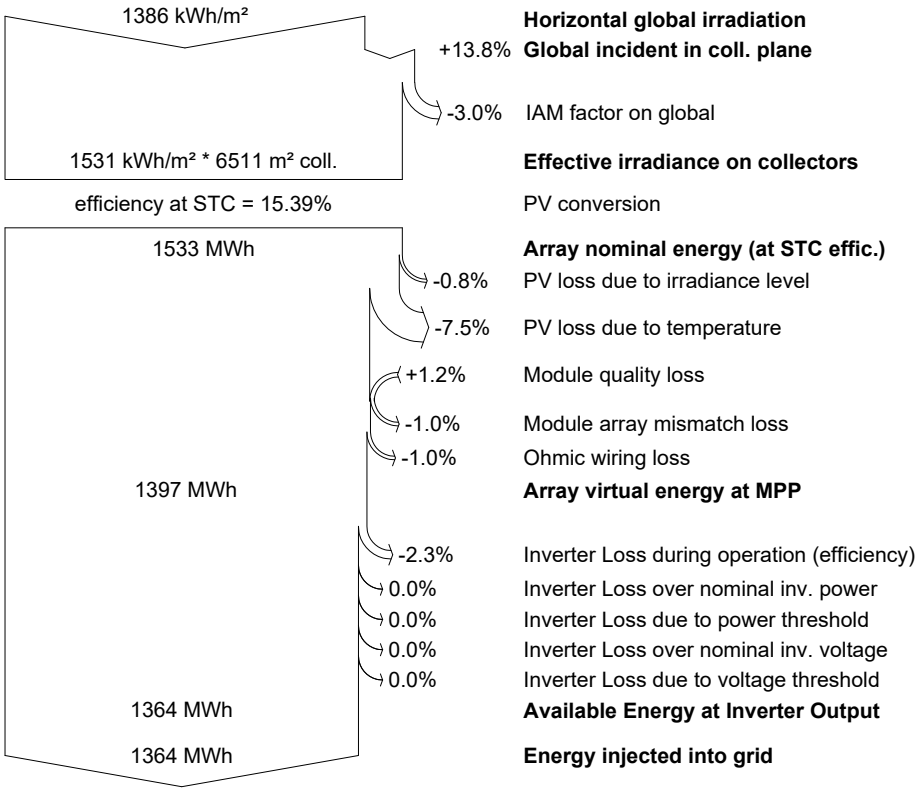
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



Grid-Connected System: Economic evaluation

Project : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Investment

PV modules (Pnom = 250 Wp)	4002 units	106 US$ / unit	424012 US$
Supports / Integration		42 US$ / module	170005 US$
Inverters (Pnom = 32.0 kW ac)	27 units	4704 US$ / unit	127000 US$
Settings, wiring, ...			127000 US$
Substitution underworth			0 US$
Gross investment (without taxes)			**848017 US$**

Financing

Gross investment (without taxes)		848017 US$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %	152643 US$
Gross investment (including VAT)		1000660 US$
Subsidies		0 US$
Net investment (all taxes included)		**1000660 US$**
Annuities	(Loan 4.0 % over 20 years)	73630 US$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...		20000 US$/year
Total yearly cost		**93630 US$/year**

Energy cost

Produced Energy	1364 MWh / year
Cost of produced energy	0.07 US$ / kWh

PVsyst Licensed to Meteosfer enerji muhendislik ve meteoroloji hiz. tic.ltd.sti.(Turkey)

Grid-Connected System: CO2 Balance

Project : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

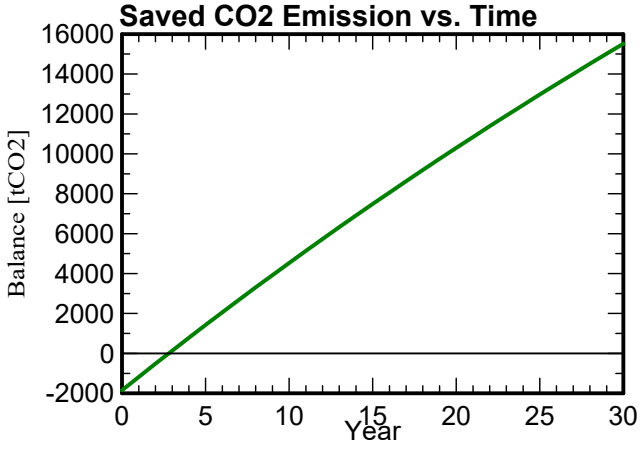
Simulation variant : **Metosfer Igdir Kotumser 1000 kW FV GES**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Produced Emissions	**Total:**	**1844.11 tCO2**		
	Source:	Detailed calculation from table below		
Replaced Emissions	**Total:**	**20006.1 tCO2**		
	System production:	1363.74 MWh/yr	Lifetime:	30 years
			Annual Degradation:	1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions:	489 gCO2/kWh		
	Source:	IEA List	Country:	Turkey
CO2 Emission Balance	**Total:**	**15514.5 tCO2**		

System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Supports
LCE	1713 kgCO2/kWp	3.26 kgCO2/kg
Quantity	1001 kWp	40020 kg
Subtotal [kgCO2]	1713576	130530



Grid-Connected System: Simulation parameters

Project : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

Geographical Site	**Igdir_Iyimser**		Country	**Turkey**
Situation	Latitude	40.0°N	Longitude	43.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	958 m
	Albedo	0.33		
Meteo data:	**Igdir_Iyimser**	Igdir_Iyimser - Synthetic		

Simulation variant : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

Simulation date 13/08/16 15h43

Simulation parameters

Collector Plane Orientation	Tilt	35°	Azimuth	0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics

PV module	Si-poly	Model	**Poly 250 w 60 Cells**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Solarturk Energy	
Number of PV modules		In series	23 modules	In parallel 174 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	4002	Unit Nom. Power 250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**1001 kWp**	At operating cond. 894 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	620 V	I mpp 1441 A
Total area		Module area	**6511 m²**	Cell area 5844 m²

Inverter		Model	**MSXI-3336-1**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Mavisolar	
Characteristics		Operating Voltage	150-800 V	Unit Nom. Power 32.0 kWac
				Max. power (=>40°C) 34.5 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	27 units	Total Power 864 kWac

PV Array loss factors

Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	7.3 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction -1.3 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

PVsyst Licensed to Meteosfer enerji muhendislik ve meteoroloji hiz. tic.ltd.sti.(Turkey)

Grid-Connected System: Main results

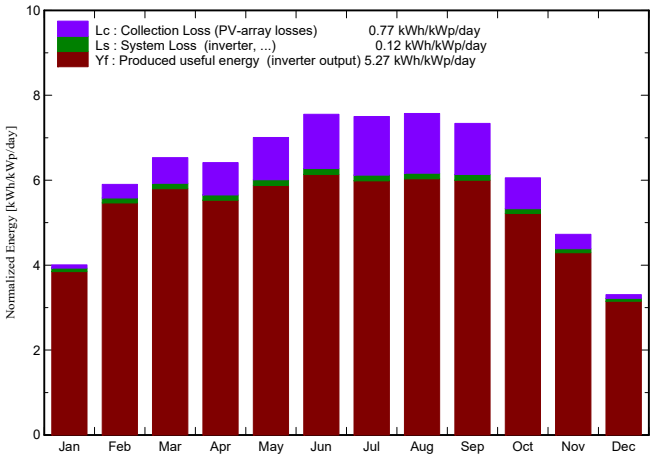
Project : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

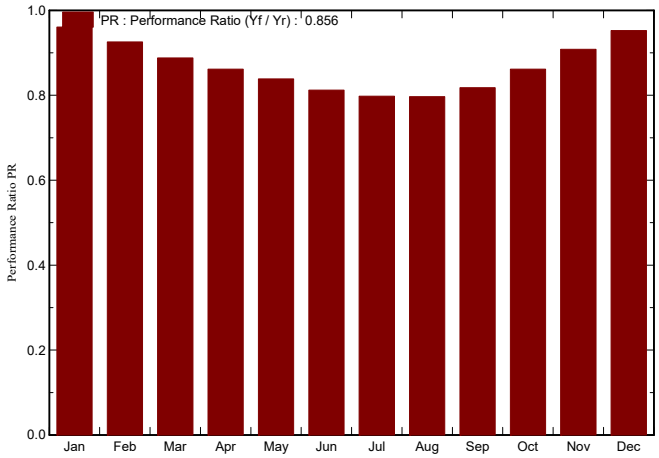
Main system parameters				
	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**1926 MWh/year**	Specific prod.	1925 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	85.64 %		
Investment	Global incl. taxes	1000660 US$	Specific	1.00 US$/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 4.0%, 20 years)	73630 US$/yr	Running Costs	20000 US$/yr
Energy cost		**0.05 US$/kWh**		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1001 kWp



Performance Ratio PR



Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	71.2	-3.90	124.2	121.2	122.0	119.4	15.08	14.76
February	103.4	-0.10	165.3	161.9	156.4	153.1	14.54	14.22
March	153.6	7.00	202.5	197.7	183.9	179.9	13.95	13.65
April	174.8	13.20	192.5	187.0	169.6	165.9	13.54	13.24
May	220.3	17.60	217.1	210.4	186.4	182.2	13.19	12.89
June	244.2	22.30	226.6	219.3	188.4	184.1	12.77	12.48
July	244.0	26.00	232.5	225.3	189.9	185.6	12.54	12.26
August	219.8	25.90	234.7	228.2	191.3	187.1	12.51	12.24
September	176.8	20.50	220.2	214.6	184.1	180.1	12.84	12.57
October	126.8	13.80	187.7	183.5	165.3	161.8	13.52	13.24
November	82.7	5.90	141.8	138.6	131.7	128.9	14.26	13.96
December	58.0	-0.70	102.5	99.9	99.8	97.7	14.96	14.64
Year	1875.6	12.36	2247.6	2187.7	1968.7	1925.8	13.45	13.16

Legends:				
	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

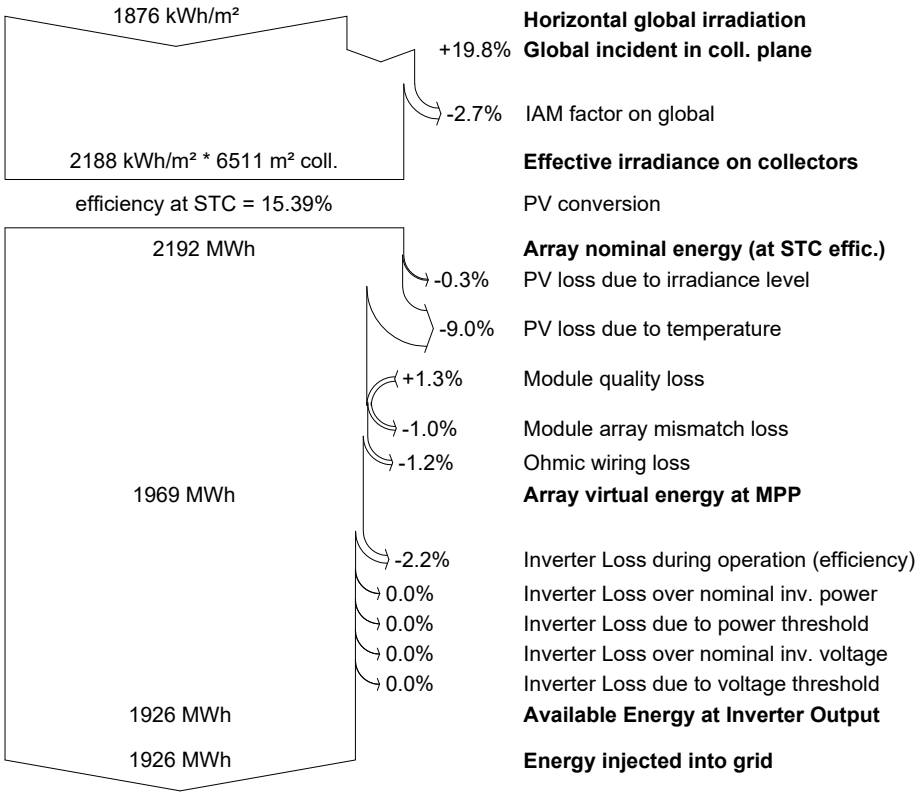
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



Grid-Connected System: Economic evaluation

Project : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

Simulation variant : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Investment

PV modules (Pnom = 250 Wp)	4002 units	106 US$ / unit	424012	US$
Supports / Integration		42 US$ / module	170005	US$
Inverters (Pnom = 32.0 kW ac)	27 units	4704 US$ / unit	127000	US$
Settings, wiring, ...			127000	US$
Substitution underworth			0	US$
Gross investment (without taxes)			**848017**	**US$**

Financing

Gross investment (without taxes)		848017	US$
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %	152643	US$
Gross investment (including VAT)		1000660	US$
Subsidies		0	US$
Net investment (all taxes included)		**1000660**	**US$**
Annuities	(Loan 4.0 % over 20 years)	73630	US$/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...		20000	US$/year
Total yearly cost		**93630**	**US$/year**

Energy cost

Produced Energy	1926	MWh / year
Cost of produced energy	0.05	US$ / kWh

Grid-Connected System: CO2 Balance

Project : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

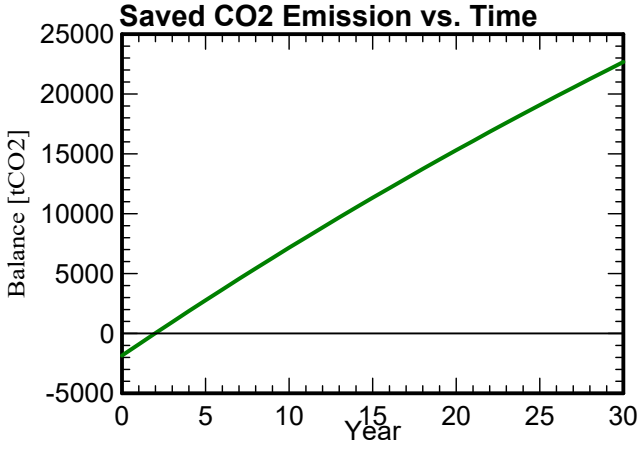
Simulation variant : **Metosfer Igdir Iyimser 1000 kW FV GES**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth	0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	4002	Pnom total	**1001 kWp**
Inverter	Model	MSXI-3336-1	Pnom	32.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	27.0	Pnom total	**864 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Produced Emissions	**Total:**	**1844.11 tCO2**		
	Source:	Detailed calculation from table below		
Replaced Emissions	**Total:**	**28252.1 tCO2**		
	System production:	1925.84 MWh/yr	Lifetime:	30 years
			Annual Degradation:	1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions:	489 gCO2/kWh		
	Source:	IEA List	Country:	Turkey
CO2 Emission Balance	**Total:**	**22669.3 tCO2**		

System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Supports
LCE	1713 kgCO2/kWp	3.26 kgCO2/kg
Quantity	1001 kWp	40020 kg
Subtotal [kgCO2]	1713576	130530



KAYNAKLAR

[1] http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2013&start=2003
[2] http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/eca/turkey/tr-focus-note-dec-2014-tr.pdf
[3] http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx
[4] ETKB TEİAŞ Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Bağlanabileceği Trafo Merkezleri ve Kapasiteleri, 11 Ağustos 2011
[5] Levent Yalçın, 2010. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
[6] http://solar.ist/
[7] Onuncu Kalkınma Planı, Yerli Kaynaklara Dayalı Enerji Üretim Programı Eylem Planı, 4. Bileşen: Su Dışındaki Yenilenebilir Kaynakların Değerlendirilmesi
[8] REN21 Renewables 2016 Global Status Report
[9] BP Statistical Review of World Energy, June 2016
[10] http://www.mesia.com/
[11] https://www.solarsuperstate.org/
[12] Solar Power Europe Global Market Outlook 2016
[13] http://ppi.worldbank.org/
[14] http://www.irena.org/
[15] [https://www.lazard.com]
[16] Elektrik Piyasası 2015 Yılı Gelişim Raporu
[17] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2014 Yılı Genel Enerji Dengesi Tablosu", http://www.eigm.gov.tr, son erişim: 13 Kasım 2015.
[18] TEİAŞ Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2015-2019)
[19] EPDK Elektrik Piyasası Sektör Raporu 2016 06 V2
[20] EÜAŞ Elektrik üretim sektör raporu 2015
[21] http://www.ipcc.ch/
[22] http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik-Uretiminden-Kaynaklanan-Emisyon-Raporlari
[23] www.teias.gov.tr
[24] TEİAŞ Lisanssız Tahsis Edilen GES-RES Kapasiteleri, Ağustos 2016
[25] http://www.enerjiatlasi.com/sehir/igdir/
[26] Önder Algedik 2016, Kömür ve İklim değişikliği
[27] http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18744
[28] İklim Değişikliği Eylem Planı, 2011-2023
[29] Onuncu Kalkınma Planı (2014 - 2018), Yerli Kaynaklara Dayalı Enerji Üretim Programı Eylem Planı
[30] Orta Vadeli Program (2016-2018)(Revize)
[31] ETKB Strategic Plan (2015-2019)
[32] Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi, Mayıs 2009

[33] Türkiye Elektrik ve Elektronik Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2012-2016, Ocak 2013
[34] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2016 Yılı Bütçe Sunumu", 03 Mart 2016
[35] Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2010-2023
[36] TEİAŞ Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2012 – 2021) Temmuz 2012
[37] TETAŞ Sektör Raporu 2014
[38] İklim Değişikliği ve Buna Bağlı Afetlere Yönelik Yol Haritası Belgesi 2014-2023
[39] 65. Hükümet Programı
[40] SERKA TRA2 Bölgesi (Ağrı, Ardahan, Iğdır ve Kars) 2014-2023 Bölge Planı
[41] Ardahan-Kars-Iğdır-Ağrı Planlama Bölgesi 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı
[42] SERKA 2014 Yılı Çalışma Programı
[43] SERKA Iğdır'ın Sosyo-Ekonomik Durumu ve Uygun Yatırım Alanları Raporu
[44] 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu
[45] 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun
[46] Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği
[47] Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik
[48] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik
[49] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Yerli Aksamın Desteklenmesi Hakkında Yönetmelik
[50] Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği
[51] Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliği
[52] Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ
[53] İthalatta Gözetim Uygulanmasına İlişkin Tebliğ
[54] 2016/29 sayılı İthalatta Haksız Rekabetin Önlenmesine İlişkin Tebliğ
[55] http://www.igdir.gov.tr/
[56] Iğdır İl Çevre Durum Raporu, 2007
[57] Doğu Anadolu Diri Fay Haritası, MTA Bölge Müdürlüğü, 2011
[58] Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü 2012
[59] Çevre Durum Raporu, 2012
[60] Serhat Şensoy ve Ark., İklim Sınıflandırmaları
[61] D.M.İ., 1988., Aydeniz Metodu ile Türkiye'nin Kuraklık Değerlendirmesi, Ankara
[62] Patel, R. 1999. Wind and Solar Power Systems. CRC Press, 350 s., New York.
[63] Soto, W.D. 2004. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. Master of Science. Solar Energy Laboratory University of Wisconsin, 235 s., Madison.
[64] DelftX Solar Energy Course ET3034TUx-4.5-slides

[65] Paatero, J.V. and Lund, P.D. 2006. Impacts of energy storage in distribution girds with high penetration of photovoltaic power. International Journal of Distributed Energy Resources, 3 (1); 31 - 45.
[66] Paatero, J. 2009. Computational studies on variable distributed energy systems. Ph.D. thesis. Helsinki University of Technology, 86 s., Espoo.
[67] Luque, A. and Hegedus, S. 2002. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. John Wiley & Sons Ltd., 1179 s., Madrid.
[68] Anonymous. 2009b. Study guide for photovoltaic system installers. NABCEP, 77 s., ABD.
[69] Levent Yalçın, 2013. Performance comparison of c-Si, mc-Si and a-Si thin film PV by PVsyst simulation. Journal of Optoelectronıcs and Advanced Materıals Vol. 15, No.3 - 4, March – April 2013, p. 326 – 334
[70] Fraunhofer 2016-06-06_Photovoltaics_Report
[71] 30 kWpTipSartname_29112014_v2
[72] Karapınar İlçesi'nde Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisi Yatırımları için Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi olmasına Yönelik Fizibilite Çalışması Raporu
[73] Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayını, 2009, Ankara
[74] The World Bank, 2011. Issues in estimating the employment generated by energy sector activities
[75] http://myk.gov.tr/
[76] Yalım Serhadlıoğlu sunumu
[77] www.solarif.com
[78] Metosfer Meteorolojik Ölçüm Koleksiyonu
[79] Anonim. 1983. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli - zamansal ve alansal dağılımı. DMİ, (83 - 29), 83 s., Ankara.
[80] Alnaser, W. E., Eliagoubi, B., Al-Kalak, A. and Trabelsi, H. 2004. First solar radiation atlas for the Arab world. Renewable Energy, (29), 1085–1107., Isa Town.
[81] Şen, Z. 2007. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques: Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy. Springer-Verlag London Limited, 280 s., İstanbul.
[82] Myers, D.R. and Emery, K.E. 2002. Terrestrial solar spectral modeling tools and applications for photovoltaic devices. 29th IEEE PV Specialists Conference, (NREL/CP-520-31407), Louisiana.
[83] Hoogwijk, M. 2004. On the global and regional potential of renewable energy sources. Universiteit Utrecht, 256 s., Utrecht.
[84] www.yegm.gov.tr
[85] Türkiye Güneş Enerjisi Dinamik Tekno-Ekonomik Modeli KAMAG projesi önerisi F. Birsen TURGU Alaçakır; Fizik Yüksek Mühendisi; YEGM-Fotovoltaik Çalıştayı; Güneş-Elektrik Dönüşüm Sistemlerinde Yasa, Yönetmelik Ve Standartlar
[86] http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php
[87] http://www.soda-is.com/esra/
[88] https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/

[89] http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Turkey-tr.png
[90] http://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojitarihi.aspx
[91] Aksoy, B. 1996. Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations. Renewable Energy, 10 (4), 625-633., Ankara.
[92] Yılmaz ve ark., 2007 Statistical Analysis of Solar Radiation Data
[93] Bostan P.A., Akyürek Z., 2007, İkincil Veriler Kullanılarak Türkiye Ortalama Yıllık Yağış Değerlerinin Mekansal Dağılımının Modellenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim –02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon
[94] DMİ Türkiye Güneş Atlasi_v1
[95] Bird Clear Sky Model, authored by Richard Bird –NASA
[96] DSİ Genel Müdürlüğü 2013 Yılı Faaliyet Raporu
[97] http://www.enerjiatlasi.com/sehir/
[98] TEİAŞ Trafo Merkezleri ve Tarife Bölgeleri Listesi 2016
[99] TEİAŞ, Türkiye Elektrifikasyon Şeması, 8.1.2004
[100] Aras EDAŞ_2015-Faaliyet-Raporu
[101] Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik Kapsamında Kapasite Tahsis Tablosu
[102] Aydın, N.Y., (2009), GIS-Based Site Selection Approach For Wind And Solar Energy Systems: A Case Study From Western Turkey, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
[103] Hang, Q., Jun, Z., Xıao, Y., Junkuı, C., (2008), "Prospect of concentrating solar power in China-the sustainable future", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, , s. 2505–2514.
[104] Broesamle H., Mannsteın H., Schıllıngs C., Trıeb F., (2000), "Assessment of Solar Electricity Potentials in North Africa Based on Satellite Data and a Geographic Information System", Solar Energy, Vol. 70, s.1-12.
[105] ABD Çevre Koruma Ajansı, 2006: 12
[106] Baban, S.M.J., Parry, T., (2001), "Developing And Applying a GIS-Assisted Approach To Locating Wind Farms In the UK"., Renewable Energy, 24, s.59-71.
[107] Yeni Yatırım Teşvik Sistemi 1. Yıl Uygulama Sonuçları, T.C. Hazine Müsteşarlığı, Teşvik ve Uygulama Genel Müdürlüğü, 2010.
[108] http://www.pvsyst.com/en/about-us
[109] www.green-cf.com
[110] www.carbomart.com

HAKKIMIZDA

Iğdır ve FV Güneş Elektriği
-Güneş ilk Iğdır'dan doğar!..-

ISBN NO: 978-605-66913-0-0

Proje sahibi

Serhat Kalkınma Ajansı (SERKA)
(Iğdır Yatırım Destek Ofisi)

Proje:

Bu araştırma ve geliştirme çalışması, SERKA tarafından, ***Iğdır İli Güneş Enerjisinden Elektrik Üretme Potansiyelinin Tespitine Yönelik Araştırma Geliştirme Faaliyeti*** kapsamında Metosfer Enerji Mühendislik ve Meteoroloji Hizmetleri Ticaret Limited Şirketi'ne yaptırılmıştır.

Hazırlayan

Metosfer Enerji Mühendislik ve Meteoroloji Hizmetleri Ticaret Limited Şirketi
Gazi Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesi'nde kurulu bir Ar-Ge firmasıdır.
Bahçelievler M. 320 S. 3/B Gazi TeknoPark CZ06 06830 Gölbaşı Ankara
T&F: +903124849070 info@metosfer.com.tr www.metosfer.com.tr

Metnin yazarı

Araştırmacı Dr. Levent YALÇIN, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde *FV amaçlı Güneş Enerjisi Potansiyeli Belirleme ve Yararlanabilme Olanakları* konusunda doktora derecesine sahiptir. Muhtelif ortamlarda yenilenebilir enerji üzerine eğitim, makale ve konuşma faaliyetleri yürütmektedir. Meteorolojinin Sesi Radyosu'nda hazırlayıp sunduğu YEŞİL RADYO programı ile sürdürülebilir bir yaşamı toplum geneline yayma çabasındadır.

Aşağıdaki tablo bu raporun geçirdiği değişiklikleri, tarih ve versiyon numarası ile birlikte içermektedir. Lütfen, raporun son versiyonunu kullandığınızdan emin olun.

Versiyon Numarası	Versiyon Tarihi	Yapılan Değişiklik
V01	Ekim 2016	Rapor yazımı

YASAL UYARI

Bu çalışmada teknik, idari ve yasal alıntılar olabildiğince kaynak kişi, kurum ve yayın ismi belirtilerek oluşturulmuştur. Iğdır özelinde uzun yıllara dayanan, dakikalar mertebesinde emek içeren meteorolojik verilerden Meteoroloji Genel Müdürlüğü izniyle yararlanılmıştır. FV proje senaryoları için hazırlanmış simülasyonlar lisanslı PVSYST 6.47 versiyonu ile oluşturulmuştur. Metosfer Enerji bu hizmeti sunarken kullanılan bilgilerin güvenilir kaynaklardan geldiğine inanmakta, ancak herhangi bir bildirimde bulunmaksızın değişebilecek bu bilgilerin doğruluğunu ya da eksiksizliğini garanti etmemektedir. Bu dokümandaki hiçbir ifade böyle bir garanti olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır.

Yayında geçen ifadeler, çalışmayı yapan ve yayını kaleme alan uzmanların mevcut değerlendirmelerini yansıtmaktadır. Proje Sahibi SERKA'nın görüşlerini ve kurumsal yaklaşımını yansıtmayabilir. SERKA ve Metosfer Enerji, bu hizmetin, yayının ve/veya yayının içeriğinin kullanılmasından kaynaklanabilecek herhangi bir sorumluluğu üstüne almamaktadır.

Bu yayında yer alan hiçbir bilgi, herhangi bir yatırım ya da stratejiye ilişkin bir mali teklif, yatırım tavsiyesi veya önerisi olarak yorumlanmamalıdır. Bu hizmet vasıtasıyla sunulan bilgiler, okuyucuya özgü şartların değerlendirilmesi üzerine dayandırılmış değildir ve herhangi bir yatırım kararı için tek başına yeterli olarak değerlendirilmemelidir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın başlatılması, sürdürülmesi ve tamamlanmasında yapıcı yaklaşımları ile güven ve desteklerini esirgemeyen SERKA Iğdır Yatırım Ofisine, Iğdır Valiliğine ve Metosfer Enerjiye;

Yerel meteorolojik verilerden için MGM ve Iğdır Meteoroloji Müdürlüğü'ne;

Metnin grafik tasarımla görselleştirilmesini sağlayan Akıllı Tasarım'a;

Teknik bilgi ve motivasyonumuzun üst düzeyde kalmasını sağlayan GÜNDER'e;

Kaynaklar kısmında özenle atıfta bulunduğumuz tüm kaynak araştırması destekçilerimize;

Teşekkürlerimizi sunarız...

Dr. Levent YALÇIN
Ankara, Ekim 2016

Serhat Kalkınma Ajansı Iğdır Yatırım Destek Ofisi

Adresi: 14 Kasım Mah. Nihat Polat Cd. Iğdır TSO Binası No:4 Kat: 3 Iğdır/TÜRKİYE
Telefon: 0 (476) 227 70 10 - Faks : 0 (476) 227 70 11- Web : www.serka.gov.tr