



## Türkiye’de 50MW Üstü GES Üretimi Gerçekleştiren Şehirlerimizde Agrivoltaic Sistem Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

### Investigation Of Agrivoltaic System Usability Generating Over 50MW Of SPP Different Cities in Turkey

Atıl Emre Cosgun

<sup>1</sup>Aksaray Ortaköy M.Y.O., 68100, Aksaray, TÜRKİYE

**Başvuru/Received:** 07/03/2021

**Kabul / Accepted:** 10/06/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 18/06/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 18/06/2021

#### Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ile enerji ihtiyacımızın karşılanabilmesi için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerji santralleri için geniş arazilerin kullanılması sınırlı arazi kaynakları için olumsuz bir durum olsa da panel altlarında yapılacak tarım fikri bu durumu avantaja dönüştürebilmektedir. Aynı toprak parçası üzerinde bir yandan fotovoltaiik paneller ile elektrik üretilirken diğer taraftan panellerin alt kısımlarında tarım yapılması “Agrivoltaic sistemler” olarak adlandırılmaktadır. Agrivoltaic sistemlerin hem tarım üretimine hemde elektrik üretimine olumlu katkıları vardır. Bununla birlikte panellerin alt kısmında oluşan gölgelik alanda, toprak daha uzun süre nemli kalmaktadır. Toprağın nemli olmasından dolayı bitki için harcanan su miktarlarında, geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında daha az olmaktadır. Böylelikle, Agrivoltaic sistemler kullanılarak su tasarrufu yapılabilmektedir. Bu çalışmada, Agrivoltaic sistemler tanıtılarak, ülkemizdeki Konya, Kayseri, Ankara, Afyonkarahisah, Denizli ve Antalya şehirlerimizin potansiyel ışınım değerleri ve güneş yörünge hareket grafikleri kullanılarak ülkemizdeki Agrivoltaic sistemlerin genel bir değerlendirmesi yapılmıştır. Bu şehirlerin seçilmesinin sebebi 50MW üstü kurulu GES’lerin bulunmasıdır. Ayrıca yapılan çalışmada Agrivoltaic sistemin, Türkiye’nin tüm bölgelerinde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Agrivoltaic, fotovoltaiik, güneş enerjisi, tarım”

#### Abstract

Large areas are needed to meet our energy needs with solar energy, which is one of the renewable energy sources. Although the use of large lands for solar power plants is a negative situation for limited land resources, the idea of agriculture under the panels can turn this situation into an advantage. While electricity is generated by photovoltaic panels on the same land, on the other hand, farming in the under of the panels is called “Agrivoltaic systems”. Agrivoltaic systems have positive contributions to both agricultural production and electricity generation. Besides, the soil stays moist for a longer time in the shade area formed at the bottom of the panels. Due to the moist soil, the amount of water spent for the plant is less compared to traditional methods. Thus, water savings can be achieved by using Agrivoltaic systems. In this study, by introducing Agrivoltaic systems, a general evaluation has been made by using solar trajectory motion graphics and potential radiation values of our country’s cities such as; Konya, Kayseri, Ankara, Afyonkarahisah, Denizli, and Antalya The reason for choosing these cities is that there are GES over 50MW installed. In addition, this system performed in this study, the availability in all regions of Turkey were evaluated.

#### Key Words

“Agrivoltaic, photovoltaic, solar energy, agriculture”

## 1. Giriş

Dünya ile Güneş arasındaki ortalama mesafe  $1.495 \times 10^{11}$  m'dir. Dünya'nın eksantrik yörüngeye sahip olmasından dolayı, aradaki mesafe % 1,7 oranında değişebilmektedir. Arada bu kadar mesafe olmasına rağmen Güneş, yeryüzünün en büyük ve en önemli enerji kaynağıdır. Atmosfer ve bulutlar, güneş ışınımının bir kısmının dünyaya gelmesini engelledi, güneşten yeryüzünün herhangi bir yüzeyine gelen güneş ışınimleri; direkt, difüz ve yansıyan ışınımlardan oluşmaktadır. Yeryüzüne düşen güneş ışıkları ile yüzeyler arasında bir açı oluşur. Bu açıya bağlı olarak güneşin periyodik hareketleri tespit edilebilmektedir (Karafil vd., 2016). Güneş'in çapı göz önünde bulundurulursa, yeryüzünün herhangi bir yüzeyine düşen güneş ışınımının maksimum açısı yaklaşık  $32^\circ$ 'dir. Güneş ışınım miktarını etkileyen bileşenler sıralanacak olursa; dünya ve güneş arası mesafe, hava kirliliği, güneşin konumu, bulutlar ve su buharı sayılabilir (Aksungur et al., 2009). Ayrıca, güneş'ten dünya'ya gelen ışınımın mevsimlere göre farklılık göstermesi, fotovoltaik paneller ile elde edilen elektriğin verimliliğini de etkilemektedir. Bununla birlikte, panellerin verimliliğine etkileyen bir çok çevresel etkenler de bulunmaktadır bunlar; yağmur, kar, UV ışınimleri, tozlanma, panel içerisinde balon oluşumu veya sararmalar olarak sıralanabilir (Demir, 2020). Günümüzde teknolojinin gelişmiş olmasına rağmen fotovoltaik verimlilikleri %15 ile %22 arasında değişmektedir. Yeryüzünde, birim yüzeye düşen ışınım miktarları sayılan sebeplerden dolayı değişkenlik göstermesi ve teknolojinin onca gelişmiş olmasına rağmen panel verimliliklerinin düşüklüğü, Güneş Enerji Santrallerinin (GES) kurulması için gerekli olan büyük alanların sebeplerindedir. GES arazileri büyük alanlar kapladıkları için genellikle bu arazilerin tarım arazilerinin dışında, verimsiz topraklar üzerinde kurulmalarına müsaade edilmektedir. Ancak günümüz şartları düşünüldüğünde, yeryüzünde yaşayan milyarlarca insanın, beslenme ve enerjiye olan gereksinimi göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Fotovoltaik panel kurulu arazilerin tek başına elektrik üretim alanları olarak kullanılmasına alternatif olarak "Agrivoltaic Sistem" fikri tarihte ilk kez 1981 yılında Goetzberger ve Zastrow tarafından ortaya atılmıştır (Goetzberger and Zastrow, 1982). Toprağa dayalı tarım ve Güneş enerjisi ile elektrik üreten üreteçlerin (fotovoltaik-PV) birleşmesinden oluşan bir terim olan "Agrivoltaic", PV paneller altında gerçekleştirilen tarımdır. Bu fikir ortaya çıktığı ilk yıllarda dikkat çekememiş olsa da ilerleyen yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Agrivoltaic sistemlerin neden önemli oldukları, aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Agrivoltaic sistemler ile aynı toprak parçası üzerinde elektrik üretimi yapılabildiği gibi tarımda yapılmaktadır. Mevcut, PV ile elektrik üretim yerlerinde sadece elektrik üretilmektedir. Bu durum PV altında, tarım yapılabilecek arazilerden maksimum alınabilecek verimin önüne geçmektedir.
- Agrivoltaic sistemlerin kullanımı ile elektrik üretim verimi artırılabilir. PV panellerin sıcaklıklarının artması, verimliliğinin düşmesine sebep olmaktadır. Panellerin alt kısımlarında yetiştirilen bitkilerin sulanması ile panel altlarında mikro-iklimik bir ortam oluşmakta ve panellerin sıcaklıkları bu yöntemle düşürülmektedir (Dupraz et al., 2011). Bu sayede panel soğutularak, verimliliği arttırılmaktadır.
- Agrivoltaic sistemler ile tarımsal arazilerde kullanılan su miktarları azami ölçüde azaltılmaktadır. Panelin alt kısmında, gölgede kalan toprak daha uzun süre nemli olarak kalacak ve bitkilerin büyüyüp gelişmesi için ihtiyaç duyulan su, nemli topraktan uzun süre karşılanabilecektir.
- Agrivoltaic sistemler ile gölgeli ortamı seven, uygun bitki seçilmesiyle bitki verimliliği artırılabilir.
- Agrivoltaic sistemler ile kullanılabilir tarım arazi alanları genişletilebilmektedir ve ayrıca üretilen mahsul miktarları da arttırılmaktadır.
- Agrivoltaic sistemler ile robotik ve otonom tarıma elverişli ortamlar elde edilebilir. Çelik konstrüksiyon arasında yetişen bitkilerin kontrolleri, ihtiyaç duydukları vitamin ve mineral oranları, mahsullerin toplanması gibi süreçler insan eli değmeden, çelik konstrüksiyonlara bağlı robotik sistemlerin hareketi ile sağlanabilir.
- Agrivoltaic sistemler mutual yani karşılıklı yarar sağlayan, kazan-kazan ilkesi ile ülkemizin âtıl alanlarının tarıma kazandırılmasının yansısı, üretilen elektrik miktarının arttırılmasına da katkı sağlayabilir.
- Agrivoltaic sistemler ile artan nüfusun beslenme ve enerji ihtiyaçlarının karşılanmasının yanında, aynı alan üzerinde farklı iş kollarına (çiçfi, kaynak işçisi) istihdam alanları sağlayabilir.

## 2. Literatür Çalışması

Literatüre bakıldığı zaman bu konu üzerine çalışma yapan birçok araştırmacı bulunmaktadır. Ancak, ülkemizde tarım ve elektrik üretiminin aynı anda yapılabilirliğine olan ilgi başlangıç seviyesinde olup ilerleyen zamanlarda çalışmaların artacağı düşünülmektedir. Tabak A. ve Endiz M.S. tarafından ülkemizde yapılan bir çalışmada PVSOL simülasyon programı yardımıyla Van ve Antalya şehirlerimizin potansiyel elektrik üretimleri incelenmiş, sıcaklığın elektrik üretimi üzerindeki olumsuz etkileri vurgulanmıştır (Abdulsamet and Mustafa Sacid, 2016). Dinesh ve Pearce tarafından Agrivoltaic sistemlerin potansiyeli araştırılmış, tarımsal ürünlerde verim artışı gözlenmesinin yanında panel verimliliğinin de bu yöntemle arttığı ileri sürülmüştür (Dinesh and Pearce, 2016). Cho ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışma ise üzüm yetiştirilen bir arazi üzerinde beş aylık bir gözleme dayanmaktadır. Arazi ikiye bölünmüş olup üç bölgeye ayrılmıştır. Üç bölge olmasının sebebi, üç farklı yapıda fotovoltaik kullanılmasıdır, bunlar; normal, şeffaf ve çift taraflı fotovoltaik panellerdir. İkişerli grup olmasının sebebi her bir panel grubuna ait kontrol ve test gruplarının olmasıdır. Çalışmanın sonucunda panel verimliliklerinde ve ürünlerde dikkate değer bir farklılık gözlemlenmemiş, ancak test grupları altında yetişen üzümlerin gelişim süreçleri biraz uzamıştır. Üzümlerin içerdikleri şeker oranlarında da az miktarda değişim söz konusu olmuştur (Cho et al., 2020). Santra ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada 0.5MW'lık elektrik üretim tesisinde, panellerin temizlenmesi için gerekli olan su miktarının 20.000 litre kadar olduğu bahsedilmiş ve panel altında yetiştirilmeye çalışılan tarım

ürünlerinin bu temizlik amacı ile kullanılan sudan yararlanabileceği belirtilmiştir. Bu sayede kurak alanların da tarım için kullanılabilirliği belirtilmiştir (Santra et al., 2017). Goetzberger ve arkadaşı tarafından 1981 yılında önerilen PV panellerin en uygun pozisyonda yerleşimi ve panel aralarında tarım yapımı fikri Agrivoltaic sistemlerin öncülerindedir (Goetzberger and Zastrow, 1982). Dupraz ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada simülasyon teknikleri kullanılarak Agrivoltaic sistem kullanımı ile toprak verimliliğinin %70'lere kadar artırılabilirliği gösterilmiştir. Bununla birlikte panelin yerden yüksekliği, bitkilerin yeterli ışık alması ve topraktan havaya uçacak toz parçalarının panel verimliliğine etkisi açısından önemi ortaya konulmuştur (Dupraz et al., 2011). Bitki ıslağı ve elektrik üretim ilişkisi açısından en iyi şartların belirlenmesine yönelik yapılan bir başka çalışmada Marrou ve arkadaşları PV panellerinin yerleştirilmesi ve uygun açılarının belirlenmesi ile bitki ve panel verimliliklerinin maksimum seviyelere ulaşabileceği gösterilmiştir (Marrou et al., 2013).

Bu çalışmamızda, Agrivoltaic sistemler tanıtılarak, ülkemizdeki 50 MW üstü kurulu GES'lerin bulunduğu Konya, Kayseri, Ankara, Afyonkarahisar, Denizli ve Antalya şehirlerimizin potansiyel ışınım değerleri ve güneş yörünge hareket grafikleri kullanılarak ülkemizdeki Agrivoltaic sistemlerin genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, "Agrivoltaic sistemlerin Türkiye'deki potansiyeli" ile "Türkiye'de güneş enerji potansiyeli" konuları başlıklar halinde sırası ile çalışmamızda verilmiştir. Ülkemizde, Agrivoltaic sistemlerin kullanımına yönelik deneysel herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu araştırmanın, ülkemiz literatürüne katkı sağlayacağı ve bu alanda çalışmak isteyen araştırmacılara farkındalık oluşturacağı düşünülmektedir.

### 3. Agrivoltaic sistemlerin Türkiye'deki potansiyeli

Agrivoltaic sistemler; aynı toprak parçası üzerinde fotovoltaik paneller ile bir yanda elektrik üretilirken bir yandan da panel aralarında veya alt taraflarında bitki yetiştirilmesine uygun alan oluşturan sistemler olarak tanımlanmaktadır. Ülkemiz ve dünyada 'ki hızlı nüfus artışı ve sınırlı su kaynakları ile birlikte sabit arazi alanları nedenleri ile toplumların beslenme ihtiyaçlarının karşılanmasında tarımın önemi artmış ve gelecekte de daha da artacaktır. Ülkemizdeki toplam iş gücünün %20'si ile gelirin %6,3'ünü üstlenen, bununla birlikte çevre ve doğal kaynakların korunmasında rol alan ve ihracat gelirlerimize katkı sağlayan tarım sektörü stratejik öneme sahiptir (Yavuz, 2019). Enerji sektörü ile tarım sektörünün birlikte düşünülmesi karşılıklı kazanım açısından oldukça kazançlı olacağı düşünülmektedir. Agrivoltaic sistemlerde fotovoltaik panellerin yerden yükseklikleri, yetiştirilecek bitki türlerinin kapladıkları alan ve boyları dikkat edilmesi gereken önemli hususlardır. Şekil 1.'de Agrivoltaic sistem yapılarının gösterimi verilmektedir.



Şekil 1. Agrivoltaic sistemin genel yapısı (Dos Santos, 2020)

Agrivoltaic sistemlerde kullanılacak üç çeşit panel tipi vardır (Cho et al., 2020). Birincisi normal PV panelleri, Monokristal, Polikristal, İnce Film Güneş Panelleri, vb. çeşitleri vardır. İkincisi iki yüzeyli güneş panelleri, üçüncüsü ise şeffaf güneş panelleridir. Şeffaf güneş panelleri güneşten gelen ışıkların bir kısmını arka tarafına geçirebilen özelliktedir. Bunun neticesinde Agrivoltaic sistemlerde sadece gölgeyi seven bitkilerin üretimi yapılmayıp, güneş ışınımına daha fazla ihtiyacı olan bitki türlerinin de yetişmesine imkân tanınmaktadır. Güneş ışığı ile bitki gelişimi arasında önemli bir bağ vardır. Bazı bitkiler yoğun güneş ışığı altında, bazıları ise gölgelik alanda en iyi gelişim göstermektedirler. Işığı seven bitkiler için ışık kompensasyon değeri 4200lux iken gölgeyi seven bitkiler için bu değer 27lux'dur. Agrivoltaic sistemler ile Dünya'da yaygın olarak marul, biber, domates, aloe vera, mısır ve mera otları bu yöntem kullanılarak başarıyla yetiştirilmektedir (Adeh et al., 2018; Ravi et al., 2016; Weselek et al., 2019). Ülkemizde yetiştirilen ve ışık ihtiyaçlarına göre sınıflandırma yapılabilen bitkiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir ("Tarımsal ekoloji," n.d.).

- Işık gereksinimi olana bitkiler: Marul, sığır kuyruğu, tütün, yüksük otu, adi litrum
- Işık gereksiniminin mutlak olmadığı ancak çimlenmeye destek olan bitkiler Havuç, buğdaygillere ait çoğu bitki
- Karanlık ortama gereksinim duyan bitkiler: Vanilya, çuha çiçeği, zambakgiller familyası bitkileri
- Karanlıkta daha iyi çimlenebilen bitkiler: Kültür bitkilerinin çoğunluğu, domates, brom türleri, şeytan elması, bu grupta yer alır.

Ülkemizin 2017 yılı verilerine göre bitkisel üretim değeri 135milyar TL'dir. Bu üretim; %41 oranında tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerden, %34 oranında meyve ve baharat bitkilerinden ve %25 oranında sebzelerden oluşmaktadır (Yavuz, 2019).

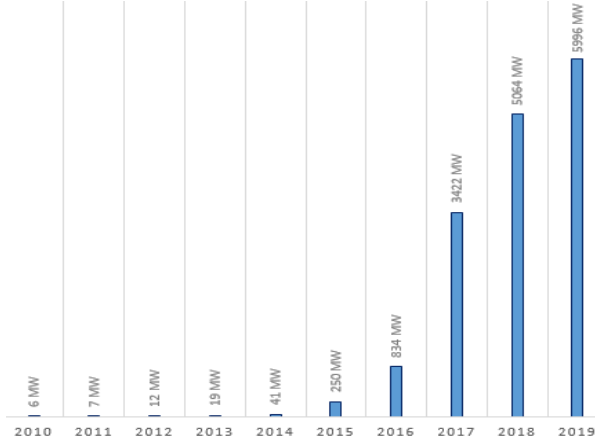
Tablo 1. 2018-2019 Tarım verileri

Ürün Grubu	2018	2019
Tarla bitkileri	62.935.629	63.835.101
Meyveler	20.494.028	20.578.453
Sebzeler	30.032.827	31.089.644

Kaynak:TÜİK

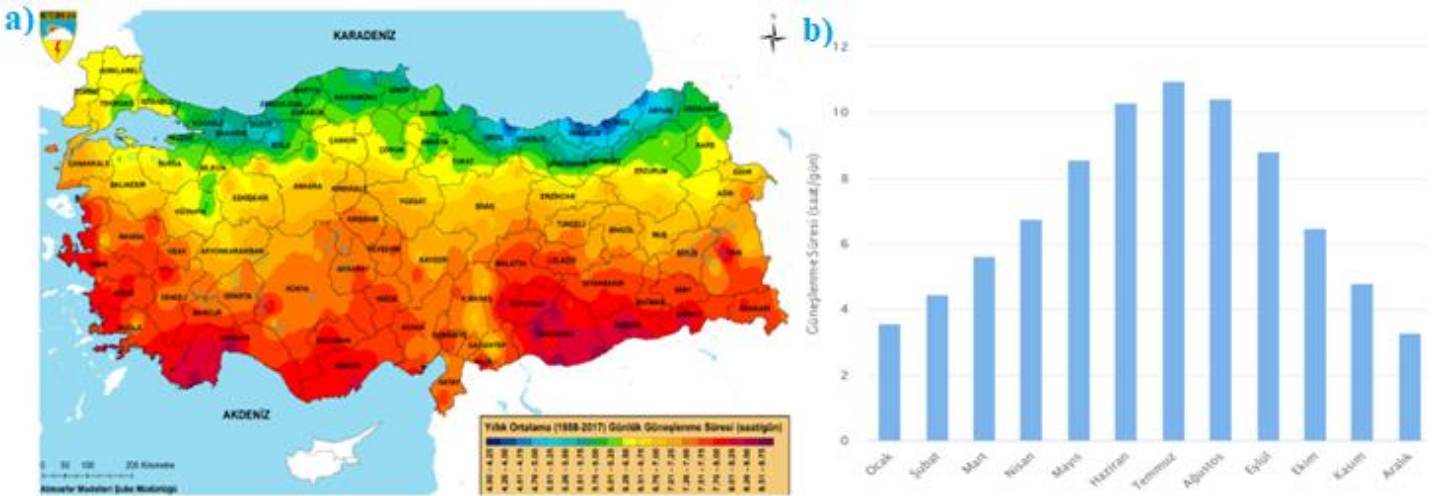
#### 4. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli

2018 yılında tüm dünyada kurulan 512.3GW fotovoltaik tesisten 670TWh elektrik üretildiği tahmin edilmektedir. Bu rakam, dünyada tüketilen toplam elektriğin% 3’üne karşılık gelmektedir (IEA PVPS task 1 et al., 2020). Şekil 2.’de ülkemizde 2010-2019 yılları arası güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarı verilmektedir. Güneş Enerji Santrallerinden 2019 yılı içerisinde yaklaşık 9.620.335.000 kilovatsaat elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir (“Güneş Enerji Santralleri,” n.d.).



Şekil 2. Yıllara göre Güneş enerjisinden yararlanma miktarları

Türkiye coğrafi yer açısından avantajlı bir konumdadır. Bu avantaj sadece kıtalar arası transit geçiş güzargahı ile sınırlı kalmayıp güneşli gün sayısının fazla olmasında etkindir. Ülkemiz, güneşli gün sayısı açısından kendisine en yakın Avrupa ülkeleri olan Fransa ve İspanya’dan %30 oranında daha fazla güneş ışınım potansiyeline sahiptir. Oranlandığı zaman bu potansiyel mevcut elektrik talebinin %75’inin güneş enerjisiyle karşılanabileceğini göstermektedir (Uğuz et al., 2019). Ülkemizde güneşlenme ışınımına maruz kalma potansiyeli Güney bölgelerden Kuzeylere gidildikçe azalmaktadır. Yağmurlu Gün sayısının fazla oluşu ve kuzeyde yer alması sebebiyle Karadeniz bölgesi en az güneş ışığı alan coğrafik bölgemizdir. Yüksek seviyelerde güneş ışığından yararlanan coğrafik bölgelerimiz ise; Ege bölgesinin güney kesimleri ile, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesidir. Şekil 3’de Meteoroloji genel müdürlüğü’nün internet sayfasından alınmış Türkiye’nin yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi verilmiş harita ile birlikte aylara göre dağılmış ortalama güneşlenme süre grafiği verilmiştir.

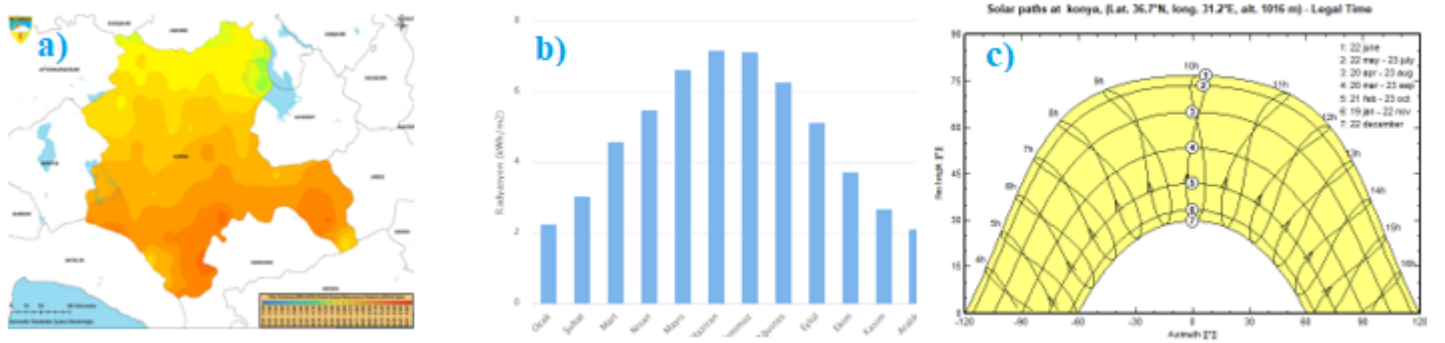


Şekil 3. (a) Türkiye’nin yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi; (b) Türkiye’nin aylara göre güneşlenme süre dağılımı

Güneş Enerji Santrallerinden toplamda 50MW üstü üretim gerçekleştirilen Konya, Kayseri, Ankara, Afyonkarahisar, Denizli ve Antalya vb., şehirlerimiz için aşağıda güneş enerji potansiyelleri, aylara göre ortalama güneşlenme miktarları ve azimut açısı verilmiştir. Azimut açısı güneşin yeryüzüne izdüşümünün, güney referansa olan açılal değeri olarak adlandırılmaktadır. Güneş panellerinin güneye olan referansları verimlilikleri açısından önemlidir. Fotovoltaik sistemler için Azimut değeri  $0^{\circ}$  ye yaklaştıkça verimlilikleri en yüksek seviyelerdedir denilebilir. Açılal Güneş hareketleri ile Güneşin gün doğumundan gün batımına kadar olan azimut açılal değişimleri verilmektedir.

## Konya

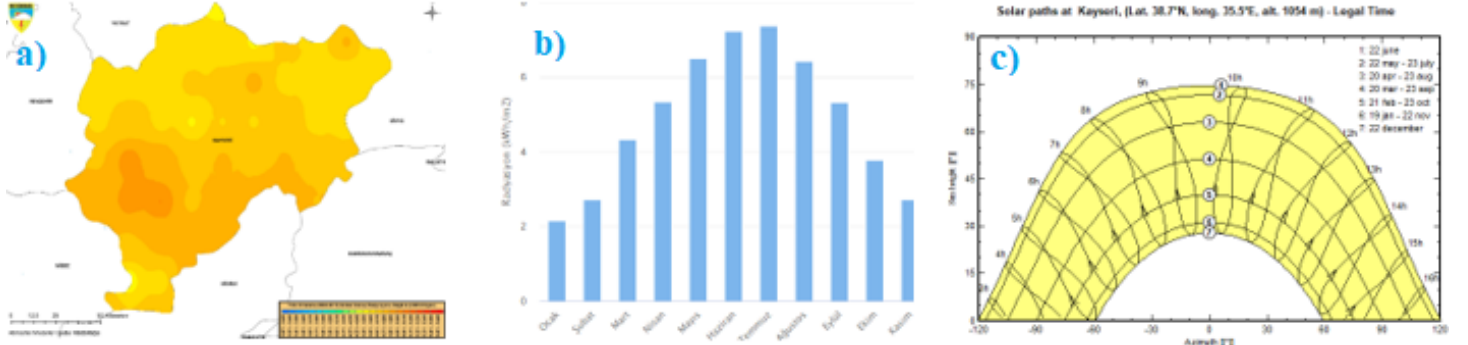
Konya ili, deniz seviyesinden 1029 m yükseklikte yer almakta ve step iklimi görülmektedir. Konya ilinde yıl boyunca az miktarda yağış görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklığı 12.2 °C ve yıllık yağış miktarı 326 mm'dir. Şekil 4.'de Konya ilinin güneş enerjisi potansiyeli, aylara göre güneşlenme miktarı, ve açısız güneş hareketleri verilmektedir.



Şekil 4. Konya ilinin a) güneş enerjisi potansiyeli, b) aylara göre güneşlenme miktarı, c) açısız güneş hareketleri

## Kayseri

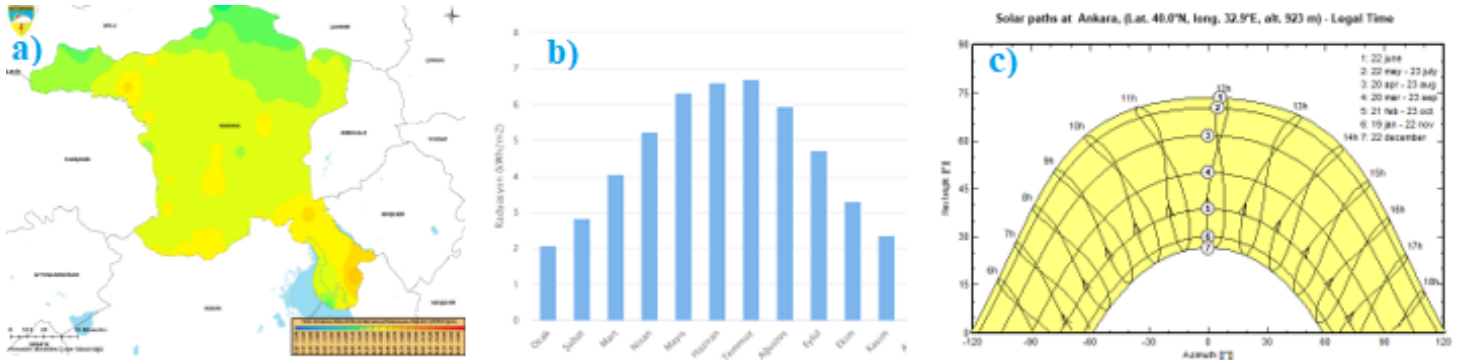
Kayseri deniz seviyesinden 1057 m yükseklikte yer almaktadır. Sıcak ve ılıman bir iklime sahiptir. Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Yıllık ortalama sıcaklığı 10.5 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı: 564 mm'dir. Şekil 5.'de Kayseri ilinin güneş enerjisi potansiyeli, aylara göre güneşlenme miktarı, ve açısız güneş hareketleri verilmektedir.



Şekil 5. Kayseri ilinin a) güneş enerjisi potansiyeli, b) aylara göre güneşlenme miktarı, c) açısız güneş hareketleri

## Ankara

Ankara deniz seviyesinden 874 m yükseklikte yer almaktadır. Sıcak ve ılıman bir iklime sahiptir. Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Ankara ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 11.5 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı: 451 mm'dir. Şekil 6.'da Ankara ilinin güneş enerjisi potansiyeli, aylara göre güneşlenme miktarı, ve açısız güneş hareketleri verilmektedir.

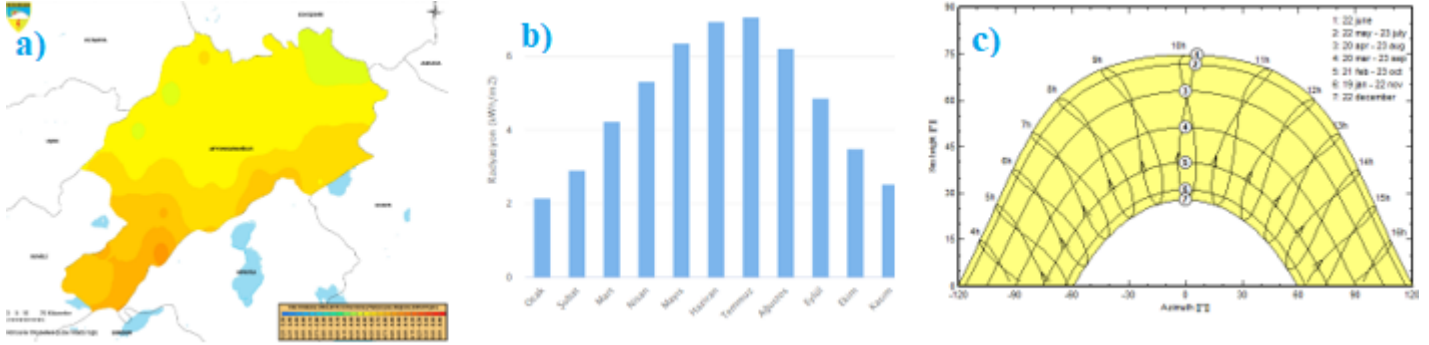


Şekil 6. Ankara ilinin a) güneş enerjisi potansiyeli, b) aylara göre güneşlenme miktarı, c) açısız güneş hareketleri



### Afyonkarahisar

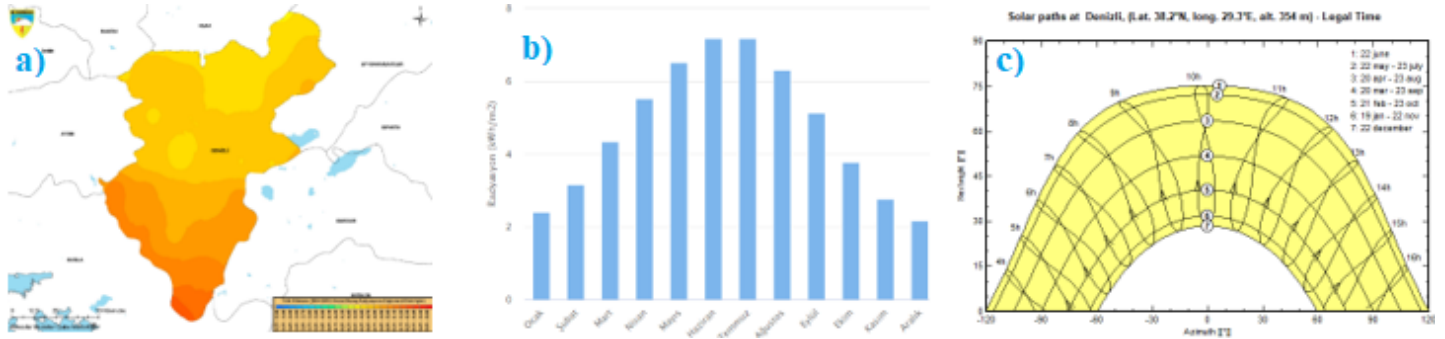
Afyonkarahisar deniz seviyesinden 1026 m yükseklikte yer almaktadır. Sıcak ve ılıman bir iklime sahiptir. Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Afyonkarahisar ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 11.0 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı: 466 mm'dir. Şekil 7.'de Afyonkarahisar ilinin güneş enerjisi potansiyeli, aylara göre güneşlenme miktarı, ve açılal güneş hareketleri verilmektedir.



Şekil 7. Afyonkarahisar ilinin a) güneş enerjisi potansiyeli, b) aylara göre güneşlenme miktarı, c) açılal güneş hareketleri

### Denizli

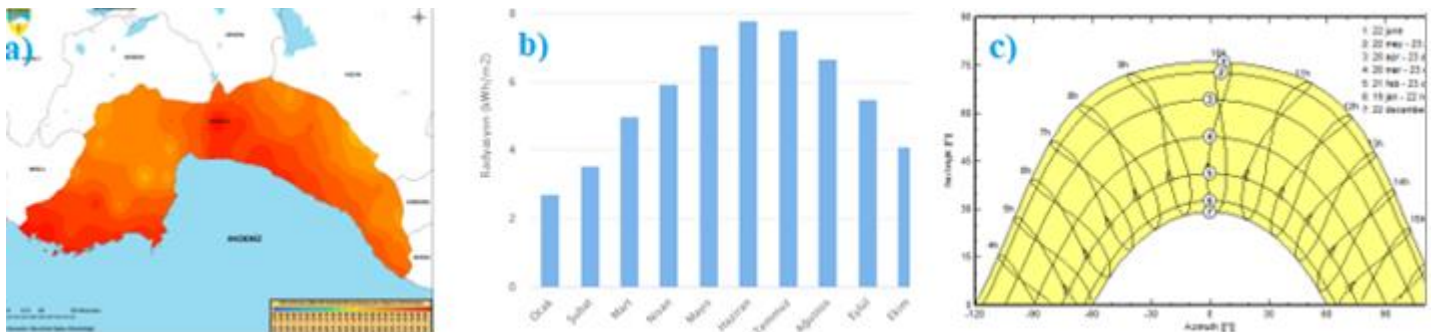
Denizli deniz seviyesinden 405 m yükseklikte yer almaktadır. Sıcak ve ılıman bir iklime sahiptir. Denizli Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Denizli ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 16.5 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı: 474 mm'dir. Şekil 8.'de Denizli ilinin güneş enerjisi potansiyeli, aylara göre güneşlenme miktarı, ve açılal güneş hareketleri verilmektedir.



Şekil 8. Denizli ilinin a) güneş enerjisi potansiyeli, b) aylara göre güneşlenme miktarı, c) açılal güneş hareketleri

### Antalya

Antalya deniz seviyesinden 57 m yükseklikte yer almaktadır. Sıcak ve ılıman bir iklime sahiptir. Antalya Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Antalya ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 17.8 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı: 1081 mm'dir. Şekil 9.'da Antalya ilinin güneş enerjisi potansiyeli, aylara göre güneşlenme miktarı, ve açılal güneş hareketleri verilmektedir.



Şekil 9. Antalya ilinin a) güneş enerjisi potansiyeli, b) aylara göre güneşlenme miktarı, c) açılal güneş hareketleri

## 5. Sonuçlar

Küresel bir sorun olan iklim değişikliği ve kuraklık ülkemizde olumsuz etkilemektedir. Her geçen gün önemini daha çok hissettiğimiz su kaynaklarımızın tükenmemesi için ulusal ve uluslararası çapta çalışmalar yürütölmektedir. Sürdürülebilir tarım için su kaynaklarına erişim oldukça önemlidir. Bunun yanında nüfusumuzun yıllık yaklaşık %13,9 arttığı bir ortamda temiz ve yenilenebilir enerji temininde bir o kadar önemlidir. Ülkemiz yıllık güneşli gün sayısı ve tarım açısından oldukça zengin bir ülkedir. Bu zenginliğin iyi değerlendirilip kıymetinin bilinmesi gerekmektedir. Avrupa ülkelerinden Almanya, Güneş enerji potansiyeli olarak Türkiye'nin Güneşlenme potansiyelinin yarısından daha az miktarda bir potansiyele sahip olmasına rağmen 2019 yılı itibari ile Türkiye'den yaklaşık 6 kat daha fazla güneşten elektrik ürettiği bilinmektedir. Ayrıca, Tarım arazilerinin ülke yüz ölçümleri ile oranına bakacak olunursa Türkiye'nin yaklaşık %34'ü tarım arazisi iken, Almanyanın yaklaşık %33'ü tarım arazisidir. Güneşlenme potansiyeli açısından yarıdan daha az bir güneşlenme oranına sahip bir ülke ile ülkemiz hemen hemen eşit tarım arazi oranlarına sahiptir. Fotovoltaik paneller altında gölgeleme doğal bir sonuçtur. Bu nedenle tarım ürünlerinin gölge toleransını, yani düşük ışık seviyelerini tolere etme yeteneklerini tam olarak bilmek önemlidir. Bazı tarım ürünleri için büyüme hızlarının gölgelik alanda azalmadığı bilinmektedir. Ülkemizde yetiştirilen ve ışık ihtiyaçlarına göre sınıflandırma yapılabilen bitkilerin çeşitliliği fazladır.

Nüfusun hızlı arttığı ve tarım arazilerinin sınırlı olduğu coğrafyamızda Agrivoltaic sistem kullanımı ve teşviki oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca, ülkemizde üretim yüzdeleri fazla olan tahıl ve bitkisel ürünlerin, güneş ışığına ihtiyaçları göz önünde bulundurularak bu yöntem ile tarımsal ürünlerin üretilebileceği bilinmektedir. Şehirlerimiz için aylara göre güneşlenme süreleri arasında çok büyük farklılık bulunmamaktadır. Agrivoltaic sistemlerde normal, iki-yüzlü veya şeffaf paneller kullanılarak, yetiştirilmesi planlanan tarımsal ürünlere göre santrallerin kurulması mümkün gözökmektedir. Böylelikle ülke sınırları içerisinde yer farketmeksizin Agrivoltaic sistem kullanılarak herhangi bir tarımsal ürün yetiştirilebileceği düşünölmektedir. Bu durum bizlere; ürünlerde rekolte artışı, tarımsal arazilerin artırılması, optimum seviyede enerji dönüşümü, tarımda veya fotovoltaik panel temizlemede kullanılacak suda tasarruf, vb. gibi konularda kazanç sağlatacaktır.

## Referanslar

- Abdölsamet, T., Mustafa Sacid, E., 2016. the Comparative Analyzes of Solar Energy Production Potential Between Van and Antalya Using Pvsol Simulation Tool. i-manager's J. Instrum. Control Eng. 4, 1. <https://doi.org/10.26634/jic.4.3.7061>
- Adeh, E.H., Selker, J.S., Higgins, C.W., 2018. Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. PLoS One 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203256>
- Aksungur, K.M., Kurban, M., Filik, Ü.B., 2009. Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. Enerj. Veriml. ve Kalitesi Sempozyumu 3–6.
- Cho, J., Park, S.M., Reum Park, A., Lee, O.C., Nam, G., Ra, I.H., 2020. Application of photovoltaic systems for agriculture: A study on the relationship between power generation and farming for the improvement of photovoltaic applications in agriculture. Energies 13, 1–18. <https://doi.org/10.3390/en13184815>
- Demir, H., 2020. FREQUENT FAULTS ON THE DC SIDE IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, First Edit. ed. Gece Kitaplığı, Ankara.
- Dinesh, H., Pearce, J.M., 2016. The potential of agrivoltaic systems. Renew. Sustain. Energy Rev. 54, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- Dos Santos, C.N.L., 2020. Agrivoltaic system: a possible synergy between agriculture and solar energy 42.
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., Ferard, Y., 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. Renew. Energy 36, 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
- Goetzberger, A., Zastrow, A., 1982. On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation. Int. J. Sol. Energy 1, 55–69. <https://doi.org/10.1080/01425918208909875>
- Güneş Enerji Santralleri [WWW Document], n.d. URL <https://www.enerjiatlasi.com/gunes/>
- IEA PVPS task 1, Masson, G., Kaizuka, I., Bosch, E., Detollenaere, A., Neubourg, G., van Wetter, J., Lindahl, J., 2020. Trends in Photovoltaic Applications 2020.
- Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., Dupraz, C., 2013. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. Eur. J. Agron. 44, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.003>
- Ravi, S., Macknick, J., Lobell, D., Field, C., Ganesan, K., Jain, R., Elchinger, M., Stoltenberg, B., 2016. Colocation opportunities for

- large solar infrastructures and agriculture in drylands. *Appl. Energy* 165, 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.078>
- Santra, P., Pande, P.C., Kumar, S., Mishra, D., Singh, R.K., 2017. Agri-voltaics or solar farming: The concept of integrating solar PV based electricity generation and crop production in a single land use system. *Int. J. Renew. Energy Res.* 7, 694–699.
- Tarimsal ekoloji [WWW Document], n.d. URL [http://www.bingol.edu.tr/documents/Tarimsal Ekoloji.pdf](http://www.bingol.edu.tr/documents/Tarimsal_Ekoloji.pdf)
- Uğuz, S., Çağlayan, N., Oral, O., 2019. PV Güç Santrallerinden Elde Edilecek Enerjinin Makine Öğrenmesi Metotları Kullanılarak Tahmin Edilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Derg.* 11, 769–779.
- Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., Högy, P., 2019. Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 39. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>
- Yavuz, F., 2019. Türkiye tarımına yeniden bakış.