

Çukurova Üniversitesi'nde Ölçülen Güneş Işınım Verileri Analizi

Nuri EMRAHOĞLU*¹, İlhami YEĞİNGİL²

¹Çukurova Üniversitesi, Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi,
Adana

²Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Gaziantep

Geliş tarihi: 28.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Adana, güneş enerjisi nedeniyle çok uygun bir bölgede (Boy=35° 18 'E, Enl = 36° 59' N, Yük=130 m) yer almaktadır. Bölgede yapılması düşünülen yatırımlar için atmosferik koşulların her zaman sabit olmaması nedeniyle güneş enerjisi ve meteorolojik ölçümlerin düzenli olarak yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezinde (UZAYMER) piranometre ile alınan anlık veriler FORTRAN 77 program diliyle hazırlanan programla analiz edilmiştir. Bu programla, saniyelik olarak alınan verilerden saatlik ve günlük veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setlerinden aylık, yıllık ve yüzdelik ışıınım değerleri hesaplanmıştır. Atmosfer dışı ışıınım enerjisi değerleri kullanılarak, günlük verilerden Adana'nın bulutsuzluk değerleri elde edilmiştir.

Çalışma iki kısımdan oluşmuştur. Birinci kısım 1978-1982 yılları arasında alınan verilerin, ikincisi ise karşılaştırma yapılmak amacıyla 2017 yılında alınan verilerin analizidir. 1978-1982 yılları arasında Adana'da yıllık ortalama güneş enerjisi değeri 5745,1 MJ/m² ve ortalama günlük toplam ışıınım 15,74 MJ/m²-gün olarak belirlenmiştir. En az enerji Ocak ayında 6,84 MJ/m²-gün, en fazla güneş enerjisi ise 25,42 MJ/m²-gün ile Haziran ayında olduğu tespit edilmiştir. 2017'de alınan verilerin sonucunda ise yıllık ortalama günlük güneş enerjisi 17,75 MJ/m²-gün, yıllık ortalama güneş enerjisi ise 6479,99 MJ/m² olarak hesaplanmıştır. En fazla güneş enerjisi 29,25 MJ/m²-gün ile Temmuz, en az ise 6,24 MJ/m²-gün aralık ayı olarak belirlenmiştir.

Ayrıca çalışmada, 1978-1982 ve 2017 verilerinden, bulutsuzluk indeksi de belirlenerek karşılaştırılmıştır. Bu sonuca göre $K_t < 0,34$ değeri için bölgenin bulutlu, $0,34 \leq K_t \leq 0,64$ değerleri arasında ise kısmen bulutlu, $K_t > 0,64$ değeri için ise havanın açık olduğu kabul edilmiştir. 1978-1982 dönemi için en bulutlu ay Şubat en açık ay ise Eylül olarak belirlenmiştir. 2017 verilerine göre de en bulutlu ay Şubat, en açık ay ise Temmuz ve ekim olarak belirlenmiştir. Yapılacak yatırımlar için bu değerlerin yol gösterici niteliğinde olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Direkt ışıınım, Toplam ışıınım, Bulutsuzluk indeksi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Nuri EMRAHOĞLU, nemrahoglu@cu.edu.tr

Analysis of Solar Radiation Data Measured at Cukurova University

Abstract

Adana is located in a very suitable area due to solar energy (Long=35° 18 'E, Lat=36° 59' N, Alt=130 m). Due to the fact that the atmospheric conditions are not always constant for the investments to be made in the region, there is a need for regular measurements of solar energy and meteorological measurements.

In this study, instant data obtained with pyranometer in Cukurova University Space Sciences and Solar Energy Application and Research Center (UZAYMER) were analyzed with the program prepared with FORTRAN 77 program language. Hourly and daily data sets are created from data taken in seconds. Monthly, yearly and percentile radiation values are calculated from these data sets. With the non-atmospheric radiation energy values, the clearness values of Adana were obtained from the daily data.

The study consisted of two parts. The first part is the analysis of the data taken between 1978-1982 and the second is the analysis of the data taken in 2017 for comparison. Between the years of 1978-1982 in Adana, the average annual solar energy value was 5745,1 MJ/m² and the average daily total radiation was 15.74 MJ/m²-day. The minimum energy is 6.84 MJ/m²-day in January and the maximum solar energy is 25.42 MJ /m²-day in June. As a result of the data obtained in 2017, the average annual solar energy is 17.75 MJ/m²-day and the annual average solar energy is 6479.99 MJ/m². Maximum solar energy is 29.25 MJ/m²-day with July and at least 6.24 MJ/m²-day in December.

In addition, in the study, the statistics of 1978-1982 and 2017 were determined and compared. According to this result, for the value of $K_t < 0.34$, it was assumed that the region was cloudy, K_t value $0.34 \leq K_t \leq 0.64$ between the partially cloudy and $K_t > 0.64$ value for the air is assumed to be open. The most cloudy month for the period 1978-1982 is February and the most open month is September. According to 2017 data, the most cloudy month is February and the clearest month is July and October. These values are guiding for the investments to be made.

Key Words: Solar energy, Direct radiation, Total radiation, Clearness index

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların giderek azaldığı bir dünyada, su ve enerji ihtiyacını çözen ülkeler, bilim, teknoloji ve ekonomi alanlarında ayakta kalacakları bir gerçektir. Tükenen yakıtların yerine konulabilecek enerji ise yenilenebilir enerji kaynakları olacaktır. Ayrıca, fosil yakıtların neden olduğu zarar göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır.

Enerji dünyadaki tüm ülkelerin en önemli ekonomik değerlerinden biridir. Her ülke, dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı olması ve yavaş yavaş azalması sebebiyle, enerji üretimi için yatırımlarını planlaması gerekmektedir. Bu planlar çevre kirliliğini önlemeyi de içermelidir. Bu

nedenle yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Bu kaynakların temel unsuru ise Güneş'tir.

Türkiye'de 1936 yılından beri DMİ (Devlet Meteoroloji İstasyonları) tarafından 65 istasyonda, toplam güneş ışınımı ölçümleri sürekli yapılmaktadır. (EİE, 1983) bu ölçümleri yapan aktinograflar yeterince hassas olmadıklarından %5-15 arasında hatalı sonuçlar vermektedir. Konu önemli olduğundan Fen Edebiyat Fakültesi Fizik bölümüne 1978 yılından beri güneş ışınımı verileri sağlıklı olarak sürekli alınmıştır ve alınmaya devam edilmektedir.

Güneş enerjisinden yararlanmak amacıyla tarih boyunca çaba sarf edilmiştir. Bu çalışmalar doğal

yakıtların tükenmesi tehlikesinin ortaya çıktığı 20. yüzyılda daha da hızlanmış ve güneşten yararlanmak için ciddi çalışmalar yapılmıştır.

Bilinen ilk çalışmalar MÖ 500 yıllarına dayanmaktadır. Xenophon bir eserinde [2] Sokrat'ın (MÖ 212) bu konudaki düşüncelerine yer verilmiştir. 25 yüzyıl önce Vesta tapınağındaki rahipler, madeni konilerden yansıttıkları güneş ışınları ile kutsal ateşleri yakmışlardır. Arşimet (MÖ 212) yüzlerce aynayı kullanarak Sirakus kentine saldıran Roma Donanmasının gemilerini yakmıştır. 1878 yılında, Paris'te kullanılan yoğun toplayıcının çanak şeklindeki yansıtıcısı, ışınları, çanağın ortasındaki madeni sütunda yoğunlaştırmakta ve sütun içindeki suyun, buhar makinasının buharlaştırması sağlanmaktaydı. 1913 yılında Mısır'ın Meadi kentinde, su pompalamak için güneş enerjisinden yararlanmıştır. Shuman ve Boys tarafından geliştirilen parabolik topaçlar ile güneş ışınları yatay borular üzerinde yoğunlaştırılarak 55 BB. Mekanik güç elde edilerek su pompaları çalıştırılmıştır [3].

Günümüzde güneşten, topaçlar yardımı ile su ısıtılmasında, konut ısıtılmasında, aynalı topaçlar yardımıyla yüksek sıcaklıklar elde ederek sanayide, güneş pilleri yardımı ile elektrik enerjisi elde edilmesinde ve buna benzer amaçlarla yararlanılmaktadır. Bu konudaki çalışmalar, üniversiteler, kamu ve özel kuruluşlarınca, tüm dünyada yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Bu çalışmalarda çoğu zaman, bölgesel güneş enerjisi verileri kullanılmakta, dolayısıyla güneş enerjisi verileri, çalışmalara esas teşkil etmektedir.

Güneş enerjisi verileri genellikle, güneş ışınımının toplam, yayılmış ve doğrusal bileşenleri ölçülerek yapılmaktadır. Bu bileşenler arasındaki ilişkiler kullanılarak, bir bileşenden diğerine geçilebilmektedir. Yöntemlerde kullanılan veriler, yayılmış ışınım yüzdesi ile bulutsuzluk indeksidir. Bulutsuzluk indeksi ve yayılmış ışınım yüzdesi sırasıyla Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile verilir.

$$K_T = \frac{H_T}{H_0} \quad (1)$$

$$K = \frac{H_Y}{H_T} \quad (2)$$

Burada H_T toplam ışınım, H_0 atmosfer dışı ışınım, H_Y yayılmış ışınımdır. K_T bulutsuzluk indeksi, K yayılmış ışınım yüzdesidir.

Hakkı Ögelman [4], Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) 25 istasyonunda alınan yatay yüzeye gelen toplam ışınımın tahmini için Angstrom yöntemini kullanmıştır. Değişik iklim yöreleri için,

$$H_T = H_0 \left(a + b \frac{s}{S_0} \right) \quad (3)$$

Eşitlik 3 kullanılarak Türkiye'nin güneş ışınımını veren harita çıkarılmıştır. Burada a , b iklim koşullarına bağlı sabitler s güneşlenme süresi, S_0 mümkün olan maksimum güneşlenme süresi, H_0 atmosfer dışı ışınım, H_T yatay yüzeye gelen toplam ışınımdır.

Mengeş ve Sonmete [5] yaptıkları çalışmada, Konya'da 2000-2002 yılları arasında alınan aylık ortalama güneş enerjisi değerlendirmesini altı modelle hesaplamışlar ve aynı zaman aralığında ölçülen değerlerle karşılaştırmışlardır.

Varınca ve Gönüllü [6] yaptıkları çalışmada 1966-1982 yılları arasında EİE tarafından alınan verilerinin analizi sonucunda, Türkiye güneş enerjisi değerinin ortalama $308 \text{ cal/cm}^2\text{-gün}$ ($1 \text{ cal}=4,18 \text{ J}$ ve $12,87 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$) olduğunu tespit etmişlerdir.

Bulut [7] yaptığı modelleme çalışmasında, trigonometrik denklemi temel alan ve yılın gününe bağlı bir model geliştirilmiştir. Bu model, kaydedilen 10 yıllık verilerle karşılaştırılmış ve Türkiye'deki 68 merkez için modellenmiştir.

Benzer bir çalışmada, [8] Türkiye Erzurum kenti için yapılmıştır ve yatay yüzeye gelen enerji tahmin edilmiştir. Bu tahmini ölçülen değerlere uygun olduğu belirtilmiştir.

Şahan ve arkadaşları [9] yaptıkları çalışmada, 1993-1995 yılları arasında Çukurova Üniversitesi UZAYMER'den alınan toplam ve UV güneş ışınımı verilerinin analizi yapılmış yıllık ortalama toplam ışınım 8322 MJ/m^2 ve UV ışınım ise 312 MJ/m^2 olarak belirlenmiştir.

Çağlar ve arkadaşları [10] yaptıkları çalışmada 2008-2009 yılları arasında Ankara ilinde alınan toplam ve direkt ışınım verileri değerlendirilmiş belirtilen ölçüm aralığında sırasıyla toplam ve direkt ışınım 17.04 ve 15.72 MJ/m^2 olarak belirlenmiştir.

Şahan ve arkadaşları [11] yaptıkları çalışmada ise Osmaniye kent merkezinde bir yıl boyunca alınan veriler değerlendirilmiş aylık ortalama değer olarak 4755.43 W/m^2 ($17.12 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$) tespit edilmiştir.

Akdeniz kıyısındaki Mersin şehri için güneş enerjisi tahmini yapılmış ve alınan verilerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, tahmini verilerle alınan verilerin uyumu gösterilmiştir [12].

Öte yandan, Özcan [13] yaptığı çalışmada enerji politikası ve enerji haklarına dikkat çekmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisinde toplumsal haklar da söz konusudur. Sürdürülebilir enerji politikaları çalışmasında birçok olumlu öneri bulunmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Güneş Enerjisinin Oluşumu

Güneş, samanyolu galaksisinde füzyon olayı ile hidrojeni helyuma dönüştüren bir yıldızdır. Kütlelerinin %90'ı hidrojendir. Yarıçapı $1.39 \times 10^9 \text{ m}$, dünyaya ortalama uzaklığı $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ olan yoğun, sıcak gazlardan oluşan bir küredir. Güneş bir katı cisim gibi dönmez. Ekvator bölgesi hemen hemen 27 günde, kutup bölgeleri ise 30 günde dönmektedir. İç bölgesindeki sıcaklık tahminen 8×10^6 ile $4 \times 10^6 \text{ K}$ arasındadır [14].

Yerçekimsel kuvvetin sonucu başlayan termonükleer reaksiyon olayında 4 hidrojen atomu bir helyum atomuna dönüşürken bir miktar kütlede

Einstein'in $E=mc^2$ bağıntısı gereğince enerjiye dönüşür. Bu reaksiyonla güneşin iç bölgelerinde oluşan enerji yaklaşık bir milyon yıl sonra yüzeye ulaşır [15].

2.1.1. Atmosfer Dışı Işınım

Güneş yüzeyi $5762 \text{ }^\circ\text{K}$ sıcaklıktaki etkin bir siyah cisim olarak düşünülür. Dünya atmosferine ulaşan enerji 1353 W/m^2 'dir. ($1,940 \text{ cal/cm}^2\text{dak}$, $4,871 \text{ MJ/m}^2\text{sa.}$) [16]. Yapılan deneylerde bu değerlerin $\pm \%1.5$ hatayı içerdiği kabul edilmiştir [17]. Yeryüzüne gelen bu enerji, değişik dalga boylarında farklı enerjileri içermektedir.

Dünya ile güneş arasındaki uzaklığın $\pm 3\%$ değişimi, gelen enerjide $\pm 3\%$ değişimine neden olmaktadır [18], atmosfer dışı ışınım, dünyanın yörüngesi değiştiğinden yılın günlerine bağlıdır ve

$$G_{0n} = G_{gs} (1 + 0.033 \cos(360.n/365)) \quad (4)$$

Eşitlik 4 ile verilir.

2.1.2. Gelen Güneş Açısı Denklemleri

Doğrusal ışınım geliş açısı θ için gelen denklem [19],

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \delta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \delta \sin \omega \end{aligned} \quad (5)$$

Eşitlik 5 ile verilmektedir. Yatay yüzey için ($\beta=0$) ve $\cos \beta=1$, $\sin \beta=0$ 'dır. Bu durumda geliş açısı doğal olarak Zenit açısına eşit olmaktadır. Güneye bakan yüzey için azimut açısı $\delta=0$ olduğunda, gelen açı denklemi

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega_s + \sin \delta \sin \phi \quad (6)$$

değerini alır (Eşitlik 6). Eşitlik 4'ün özel bir çözümü olarak $\theta_z = 90^\circ$ olduğunda güney saat açısı bulunabilir.

$$\cos \theta_z = -\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} = -\tan \phi \tan \delta \quad (7)$$

$$W_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta) \quad (8)$$

gün uzunluğu ise Eşitlik 9 ile verilir.

$$N = \frac{2}{15} W_s \quad (9)$$

2.1.3. Yatay Yüzey Üzerine Gelen Atmosfer Dışı Işınım

Yılın değişik günlerinde, atmosfer dışındaki yatay yüzeye gelen enerji Eşitlik 10 ile verilir.

$$G_0 = G_{gs} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \cos \theta_z \quad (10)$$

Yatay yüzey üzerine gelen günlük atmosfer dışı ışınımı bulmak için Eşitlik 8'in saat açısına göre integrali alınır. Yatay yüzeye gelen günlük atmosfer dışı ışınım J/m^2 cinsinden

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{gs}}{\pi} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \left[\cos \phi \cos \delta \sin W_s + \frac{2\pi W_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (11)$$

2.2. Ölçüm Kayıtları

Bu çalışmada kullanılan veriler 1985'de yayınlanan yüksek lisans tezi ve sonrasında araştırma amacıyla devam eden saniyelik toplam ışınım verilerinden, saatlik ve günlük olarak elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak Adana'nın toplam ışınım dağılımı, toplam ışınım yüzdelik frekans dağılımı bulunmuştur. Güneşten atmosfer dışındaki $1 m^2$ 'ye gelen enerjide bir değişiklik olmadığından, yüzeyde alınan verilerde de bir farklılık olmamaktadır. Sadece iklimsel özellikler değişirse yani bulutluluk aşırı hava kapalı ise ölçülen enerjide bir farklılık görülebilmektedir. Bilindiği gibi Çukurova Bölgesi Akdeniz iklim koşullarının etkisi altındadır. Hemen hemen her yıl aynı özellikler göstermektedir. Bu nedenle belirtilen tarihlerde alınan veriler günümüzde de yapılan araştırmalarda kullanılabilir.

Çukurova Üniversitesi Adana'nın kuzeyinde $36^\circ 59'K$ enlemde $35^\circ 8'D$ boylamında, denizden 130 m yüksekliktedir. Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde 1978'de başlayan ve daha sonra UZAYMER'de alınmaya devam eden toplam ve doğrusal ışınım verilerinin 1978-1982 arası yılları ile 2017 yılı değerlendirilmiştir.

Güneş ışınımının yayılmış ve doğrusal bileşeni toplam ışınımı oluşturur. Toplam ışınım yarı küresel ışınımında denmektedir. Toplam ışınımın ölçümünde Eppley tipi 8-48 model Piranometre kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Eppley 8-48 siyah-beyaz piranometre

Saniyelik olarak alınan verilerden saatlik ve günlük veriler elde edilmiştir. Ancak, yıl boyunca her gün veri alınmamıştır. Elektrik kesintilerinden dolayı yarım kalan ölçümler, bilgisayarın çalışmadığı ya da yarım gün olarak kayıt edilen veriler, değerlendirme dışı bırakılmıştır. Hazırlanan FORTRAN 77 programıyla değerlendirilen toplam ışınım verileri için şunlar göz önünde tutulmuştur.

- Toplam ışınımın günlük ve saatlik değeri, hiçbir zaman atmosfer dışı, saatlik ve günlük yatay yüzeye gelen ışınım değerinden büyük olmamalıdır.
- Saatlik Bulutsuzluk (clearness) indeksi K_T ve günlük Bulutsuzluk indeksi K_T , 0,9 değerinden büyük olmamalıdır.

1978–1982 yılları arasında alınan toplam doğrusal ışınım verileri, yapılan değerlendirmeler sonunda

1355 günlük veri değerlendirmeye alınmıştır. 2017 yılında anlık olarak alınan güneş ışınım verilerin tamamı (365 gün) değerlendirilmiştir. Toplam 1720 günlük veri bu çalışmanın sonuçlarını oluşturmuştur.

Değerlendirmede sistemden kaynaklanan hatalar göz önüne alınmamıştır. Piranometrenin lineer hatası $\pm\%1$ 'dir. Bunun yanı sıra güneşin doğuşu ve batışından kaynaklanan kosinüs etkisi de hesaba katılmalıdır. Kosinüs etkisinden meydana gelecek hata $\pm\%1,2$ 'dir [20].

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Toplam Işınım Verileri

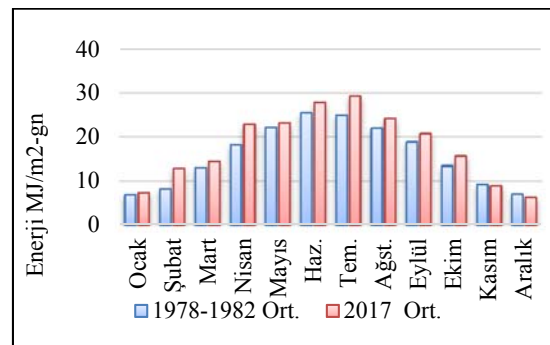
Adana'ya 1978–1982 yılları arasında gelen günlük toplam ışınım değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi 52 aylık veri değerlendirilmiştir. Yıl boyunca Adana'ya gelen ortalama günlük enerji $15,74 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, ortalama yıllık enerji yaklaşık olarak $5745,1 \text{ MJ/m}^2$ 'dir. Yıllık ortalama değer incelendiğinde haziran ayının $25,42 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ ile en fazla enerjinin geldiği ay olarak görülmektedir. En düşük enerji değeri de $6,84 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ olarak Ocak ayındadır. İklimsel etkilerin farklılığını ortaya çıkarmak için ve karşılaştırma yapabilmek için 2017'de alınan 1 yıllık veriler de değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar göre ise 365 gün sonunda ortalama günlük enerji $17,75 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, yıllık ortalama enerji ise $6479,99 \text{ MJ/m}^2$ bulunmuştur. 2017'de en fazla enerji Temmuz ayında $29,25 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, en az ise Aralık ayında $6,24 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ olarak belirlenmiştir. Çizelge 1'de bu değerler verilmiştir. Birinci ve ikinci çalışma arasındaki enerji farklılıklar havanın bulutlu olmasından ileri gelmiştir. Bu değerler benzer çalışma için 1993 yılında yine UZAYMER'de Şahan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada günlük ortalama güneş ışınım enerjisi $17,09 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, yıllık enerji ise 8322 MJ/m^2 bulunmuştur. En yüksek ışınım enerjisi $25,75 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ ile temmuz, en düşük ışınım enerjisi ise $7,25 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ ile ocak ayı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlarla karşılaştırıldığında uyumlu görünmektedir [9]. Yine Osmaniye'de Şahan ve

arkadaşları tarafından yapılan çalışmada aylık ortalama güneş ışınım enerjisi $4755,43 \text{ W/m}^2$ ($17,12 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$), günlük ortalama ise $396,29 \text{ W/m}^2$ ($1,43 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$) olarak bulunmuştur. Bu çalışmayla karşılaştırıldığında aylık olarak sonuçlar benzerlik göstermektedir. Bunun nedeni de Osmaniye'nin Adana ile aynı enlemlerde olmasındandır [11].

Çizelge 1. 1978-1982 yılları ve 2017 yılı yatay yüzeye gelen günlük toplam ışınım.

Yatay bir yüzeye gelen ortalama günlük toplam ışınım ($\text{MJ/m}^2\text{-gün}$)							
Aylar	1978	1979	1980	1981	1982	1978-1982 Ort.	2017 Ort.
Ocak		8,02	6,68	5,68	6,98	6,84	7,32
Şubat		5,60	9,53	6,67	10,97	8,19	12,85
Mart		14,46	13,17	12,88	11,53	13,01	14,35
Nisan		21,33	18,22	18,55	14,38	18,12	22,81
Mayıs		23,71	22,82	22,15	19,85	22,13	23,11
Haziran		26,14	27,05	24,6	23,87	25,42	27,79
Temmuz		27,44	23,96	24,3	23,89	24,90	29,25
Ağustos		21,68	21,56	22	22,43	21,92	24,16
Eylül		19,6	17,62	18,64	19,35	18,80	20,71
Ekim	12,27	13,19	12,37	15,52	13,52	13,37	15,57
Kasım	9,96	9,47	9,36	8,4	8,79	9,20	8,87
Aralık	6,09	6,44	6,77	6,67	8,85	6,96	6,24
Ort.	9,44	16,42	15,76	15,51	15,37	15,74	17,75

Şekil 2'de bu iki çalışmanın sütun grafiği verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere 1978-1982 yıllarında alınan verilerin ortalaması ile 2017 yılında alınan verilerin ortalaması arasında fark vardır. Dünya dışında yata bir yüzeye gelen enerji güneşten gelen enerji değişmediği için sabittir. O halde bu farklılıklar bulutluluktan yani iklimsel farklılıktan kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. 1978-1982 ve 2017 yılları aylık ortalama enerji

3.2. Günlük Toplam Işınım Yüzdeleri Frekans Dağılımı

Toplam ışınlam ölçüm yılları boyunca, belirlenen enerji aralıklarına göre yüzdeleri dağılımları Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde günlük toplam ışınlamın 20 MJ/m²-gün’den büyük değerlerin yüzdesi 39,14, 10 MJ/m²-gün’den küçük değerlerin yüzdesi 21,13 olduğu görülmektedir. 20 MJ/m²-gün’den büyük değerlerin bulunduğu aylar %97,68 ile Temmuz, %94,22 ile Haziran, %82,03 ile Mayıs, %81,3 ile Ağustos %64,89 ile Nisan, %51,85 ile Eylül olarak sıralanmıştır. Aynı enerji aralığının diğer ayların yüzdeleri dağılımları sıfırdır. 10 MJ/m²-gün’den küçük değerlerin bulunduğu aylar ise sırasıyla Aralık %78,28, Ocak %69,09’dur.

Çizelge 2. 1978-1982 yılları arasında ölçülen günlük ışınlamın belirlenen enerji aralıklarındaki yüzdeleri frekans dağılımı

Aylar	Enerji Aralıkları (MJ/m ² -gün)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-35
Ocak	12,6	56,6	30,9			
Şubat	12,2	25,8	49,0	13,0		
Mart	2,4	12,7	20,2	57,1	7,6	
Nisan	0,4	3,8	14,6	26,4	34,7	20,2
Mayıs		0,6	7,0	10,5	37,9	44,1
Haziran			1,1	4,7	18,4	75,8
Temmuz				2,3	39,2	58,5
Ağustos				18,7	68,2	13,1
Eylül			4,4	43,8	51,9	
Ekim	0,7	7,3	55,7	38,4		
Kasım	4,4	36,0	59,6			
Aralık	13,8	64,5	21,8			

Çizelge 2’de 2107 yılında değerlendirilen belirlenen aralıklardaki yüzdeleri verilmiştir. Çizelge 2’de temmuz ayında enerji en yüksek yüzdeye sahiptir. En düşük enerji yüzdesi Aralık ayındadır. Aslında beklendiği gibi kuzeye yarım küreye aralık ayında en kısa gün ve dünyanın negatif deklinasyonu en büyüktür. Güneşlenmenin çok kısa sürmesi ve iklimsel özellikler de göz önüne alındığında bu sonuç kabul edilebilir değerdedir. Her iki veri değerlendirmesinde de Aralık ayı en az enerji değeri yüzdesine sahiptir.

Çizelge 3. 2017 yılında ölçülen günlük ışınlamın belirlenen enerji aralıklarındaki yüzdeleri frekans dağılımı

Aylar	Enerji Aralıkları (MJ/m ² -gün)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-35
Ocak	29,0	48,4	22,6			
Şubat	3,6	10,7	57,1	28,6		
Mart	12,9	9,7	22,6	35,5	19,4	
Nisan		6,7	10,0	10,0	20,0	53,3
Mayıs		6,5	16,1	9,7	16,1	51,6
Haziran			3,3	6,7	6,7	83,3
Temmuz						100,0
Ağustos				12,9	48,4	38,7
Eylül				50,0	46,7	3,3
Ekim			6,5	29,0	51,6	12,9
Kasım	16,7	40,0	43,3			
Aralık	40,7	59,3				

3.3. Günlük Bulutsuzluk İndeksi, K_T

1978-1982 yılları günlük bulutsuzluk indeksinin yüzdeleri frekans dağılımı Çizelge 4’de verilmiştir. Bulutsuzluk indeksi K_T’nin 0,34’den küçük değeri için hava çok bulutlu, 0,64’den büyük değerler için hava çok açık olduğu kabul edilmiştir [21]. Havanın çok kapalı olduğu günlerin yüzdesi 10,11, açık olduğu günlerin yüzdesi ise 15,3 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4’den de görüldüğü gibi 1978-1982 yılları arasında değerlendirilen bulutsuzluk indeksinin 0,34’den küçük olduğu aylar Ocak %20, Şubat %25, Mart %17’dir. Temmuz ve Ağustos aylarında bu değer sıfırdır. Kasım, Aralık aylarında ise 0,34’ten küçük K_T değeri tekrar yükselerek sırasıyla %11 ve %216 olmaktadır.

Karşılaştırma yapabilmek için 2017’de alınmış verilerin değerlendirilmesi sonucunda iklimsel fark hemen göze çarpmaktadır. Bu yılın bulutsuzluk indeksi de Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde temmuz ayında hiç bulutlanma görülmemektedir. En çok bulutluluk ise Ocak ve Aralık ayı %26 seviyesindedir. Sırasıyla Ekim ve Eylül ayları %86,7 ve %79,3 olarak en bulutsuz günler olarak sıralanmaktadır.

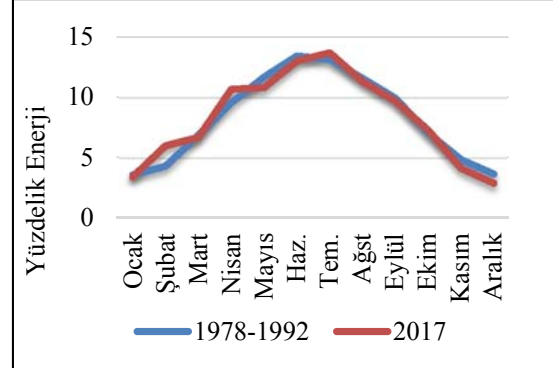
Çizelge 4. Karşılaştırmalı bulutsuzluk indeksi yüzdeler dağılımı

Aylar	1978-1982 yılları arası Bulutsuzluk indeksi			2017 yılı Bulutsuzluk indeksi		
	Bulutsuzluk aralığı					
	0,00-0,34	0,35-0,64	0,65-0,80	0,00-0,34	0,35-0,64	0,65-0,80
Ocak	27,5	51,2	20,4	26,7	66,7	6,7
Şubat	25,8	56,4	17,8	3,6	96,4	
Mart	16,8	71,1	11,1	32,3	67,7	
Nisan	12,8	72,3	14,9	35,9	41,0	23,1
Mayıs	9,1	82,5	8,5	24,1	48,3	27,6
Haziran	2,8	88,6	9,6	3,4	31,0	65,5
Temmuz		89,7	10,3			100,0
Ağustos		96,6	3,4		35,7	64,3
Eylül	3,9	68,6	28,5		20,7	79,3
Ekim	4,2	78,6	17,3		13,3	86,7
Kasım	11,6	65,3	23,1	10,0	43,3	46,7
Aralık	26,0	58,4	14,7	26,7	50,0	23,3

Çalışmada ayrıca 1978–1982 içinde alınan verilerle, 2017 yılında alınan güneş ışınım enerjisi ölçüm değerlerinin yüzdeler frekans dağılımları çıkarılmıştır. Her iki değerlendirme için de verilerin belirli enerji aralıklarında yüzdeler frekansları Çizelge 5’de iki ayrı zaman dilimleri için verilmiştir.

Çizelge 5. 1978-1982 ve 2017 yıllarında aylara göre enerji yüzdeleri

Saatlik güneş ışınım enerjisi yüzdeleri		
Aylar	1978-1992	2017
Ocak	3,62	3,44
Şubat	4,34	6,03
Mart	6,89	6,73
Nisan	9,59	10,71
Mayıs	11,72	10,85
Haziran	13,46	13,05
Temmuz	13,18	13,73
Ağustos	11,61	11,34
Eylül	9,96	9,72
Ekim	7,08	7,31
Kasım	4,87	4,16
Aralık	3,69	2,93



Şekil 3. Saatlik Güneş ışınım enerjisi yüzdeler dağılımı

Çizelge 5 ve Şekil 3 incelendiğinde ışınım enerjisinin aylara göre yüzdeler dağılımları beklenildiği gibi güneş ışınım enerjisi frekansının en yüksek olduğu aylar (her iki çalışmada d) Haziran ve Temmuz aylarıdır. En düşük ışınım enerjisi ise aralık ve ocak ayı olarak görülmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada iki farklı zaman diliminde alınan güneş ışınım enerjileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada ortaya çıkan sonuç aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre güneş enerjisinin 1978-1982 yılları için Ocak ayında, $6,78 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ 2017 yılı değerlendirmesinde ise Aralık ayı $6,24 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ olduğu, aynı şekilde sırasıyla ilk değerlendirme için en fazla güneş enerjisi gelen ayda Haziran, $25,57 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, 2017 değerlendirmesinde ise $29,25 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ ile Temmuz ayı olduğu bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre her iki değerlendirmeye göre, Ocak, Şubat, Ekim ve Kasım aylarında ortalama güneş enerjisinin yüzde yüzü $20 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ 'nin altında, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında güneş enerjisinin %59'u $20 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ 'nin üzerinde olmaktadır. 1978-1982 zaman aralığında Adana için yıllık ortalama güneş enerjisi $5759,7 \text{ MJ/m}^2$ 'dir. Günlük ortalama güneş enerjisi ise $15,78 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ 'dir. 2017 yılı verilerinin değerlendirmesi sonucunda

ortalama ve yıllık ortalama güneş ışınım enerjisi değerleri sırasıyla 17,75 MJ/m²-gün ve 6479,99 MJ/m²-gün olmuştur.

Yüzdeler olarak bakıldığında ise her iki zaman dilimi için değerler çok yakındır. O nedenle, bu rakamlar Adana'nın güneş enerjisi yönünden çok iyi olduğunu göstermektedir.

Kuzeye gidildikçe bu değerler azalmakta, örneğin Ankara'da (E=34° 48'K, B=32° 8'D) %25 daha az olmaktadır [14]. Güneye gidildikçe bu değerler artmaktadır. Beer Sheva, İsrail'de (B=34° 48'D, E=31° 15'K) yapılan çalışmada bu değer %20 daha fazladır [21].

Bölgeye gelen güneş enerjisi bölgenin iklimine de bağlıdır. Adana ile yaklaşık aynı enlemde olan Antalya (B=36° 9'K, B=31° 7'D)'da Adana'dan %10 daha fazla güneş enerjisi almaktadır

Bulutsuzluk indeksi sonuçlarına göre bölgede her iki zaman aralığı için en bulutlu ay Ocak, Şubat ve Aralık en açık ay ise Temmuz ve Eylül'dür.

Bu çalışmadan çıkan sonuç, bu iki zaman diliminde veriler karşılaştırıldığında bölgede iklimsel açıdan büyük değişikliklerin olmadığı, yapılacak güneş enerjisi kullanım kaynaklı yatırımlar için yol gösterici niteliğinde olduğu ortaya konulmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. McDaniels, D.K., 1979. The Sun: Our Future Energy Source (Second Edition). New York: John Wiley and Sons, 271.
2. Anderson, B., 1977. Solar Energy, Fundamentals in Building Design, McGraw-Hill, New York, 150.
3. Deriş, N., 1979. Güneş Enerjisi Sıcak Su ile Isıtma Tekniği, Sermet Matbaası, İstanbul, 100.
4. Ögelman H.B., 1981. Yatay Yüzeye Düşen Toplam Güneş Radyasyonun Türkiye'de Dağılımı, Güneş Dergisi, 2, 20-24.
5. Mengeş, H.O., Sonmete, M.H., 2005. Konya'da Aylık Ortalama Toplam Güneş Işınımının Tahmini için Mevcut Bazı Modellerin Karşılaştırılması, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 1(3), 237-244.
6. Bulut, H., Büyükalaca, O., 2007. Simple Model for the Generation of Daily Global Solar-Radiation Data in Turkey, Applied Energy, 84, 477-491.
7. Varınca, K.B., Gönüllü M.T., 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Haziran 2006, ESOĞÜ, Eskişehir, 21-23.
8. Bakirci, K., 2008. Correlations for Estimation of Solar Radiation on Horizontal Surfaces. Journal of Energy Engineering, 134(3),130-134.
9. Şahan, M., Şahan, H., Yeğingil, İ., 2010. Yıllık Toplam ve Ultraviyole (UV) Güneş Enerjisi Verilerinin Ölçülmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(1), 10-16.
10. Çağlar, A., Yamalı, C., Baker D., K., Kaftanoğlu B., 2013. Measurement of Solar Radiation in Ankara, Turkey. J. of Thermal Science And Technology, 33(2), 135-142.
11. Şahan, M., Tokat, Ö., Okur, Y., 2015. Osmaniye'de Günlük Toplam Güneş Işınım Ölçümleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, SDU Journal of Science (E-Journal), 10(2), 97-105.
12. Arslan, G., Bayhan, B., 2016. Solar Energy Potential in Mersin and A Simple Model to Predict Daily Solar Radiation, Muğla Journal of Science and Technology, Special Issue, 1-4.
13. Özcan, A., 2016. New Experiences on Environmental Rights in Frame Work Of Sustainability and An Ecopolitical Analysis: Solar and Wind Rights, Alternative Policy 8(1), 34-66.
14. Duffie, J.A., Beckman, W.A., 2013. Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. 3-133.
15. McDaniels, D.K., 1979. The Sun: Our Future Energy Source (Second Edition). New York: John Wiley and Sons. 271.
16. Thekaekara, M.P., Drummond, A.J., 1971. Standard Values for the Solar Constant and its

- Spectral Components. Natl. Phys. Sci., 229, 6-9.
17. Thekaekara, M.P., 1976. Solar Radiation Measurement: Techniques and Instrumentation, Solar Energy, 18(4), 309-325.
 18. Threlkeld, J.L., Jordan, R.C., 1957. Direct Solar Radiation Available on Clear Days. Heat, Piping Air Cond, 64(29), 12-18.
 19. Benford, F., Bock, J.E., 1939. A Time Analysis of Sunshine, Trans. Am. Illumin. Eng. Soc., 34, 200-218.
 20. Esen, R., 1980. Bir Siyah-beyaz Piranometre Tasarımı Gerçekleştirilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. Ç.Ü.T.B.F Tez (yayınlanmamış), 54.
 21. Al Kudish, D., Machlav, W.Y., 1983. Solar Radiation Data for Beer Sheva, Israel-Solar Energy, 33-37.