

Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye'deki Potansiyel

Doç. Dr. İsmail H. ALTAŞ
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
61080 Trabzon

E-MAIL : altas@eedec.ktu.edu.tr
FAX : (462) 325 7405

Özet

Özellikle çevre kirliliği ile ilgili problemler arttıkça yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmış ve bunlarla ilgili projeler de destek görmeye başlamıştır. Tahminlere göre 2025 yılına kadar dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %10-15 kadarlık bir bölümü yenilenebilir/alternatif enerji kaynaklarından karşılanacaktır. Halahızırda, bir çok gelişmiş ülke bu konuda önemli adımlar atmış, kaynakları gittikçe tükenen konvensiyonel enerji kullanımını azaltırken rüzgar ve fotovoltaik güneş enerjisi kullanımını artırmıştır. Bir enerji darboğazına girmekte olduğumuzun sürekli olarak gündeme geldiği bu günlerde Türkiye'de yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarından olan rüzgar ve güneş enerjisinin kullanımı ne durumdadır? Ne tür çalışmalar ve projeler yürütülmektedir? Türkiye rüzgar ve fotovoltaik güneş enerjisi kullanımına uygun mudur, yeterli potansiyele sahip midir? Diğer ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ne durumdadır? Yayınlanmış istatistiklerden ve teknik makalelerden yola çıkarak yapılan bir araştırmanın sonuçları burada verilerek tartışılmaktadır.

1. Giriş

Petrol fiyatlarının yükselmesi, kaynaklarının sınırlı olması ve çevre problemleri nedeniyle, petrol ve kömüre dayalı klasik yöntemlerle elektrik enerjisi üretimine alternatif olarak yenilenebilir kaynakların kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, su gücü, biyolojik yakıt enerjisi, deniz dalgalarının gücü, geotermik enerji, ve benzeri biçimlerde karşımıza çıkar. Ancak yıllarca süren çalışmalar göstermiştir ki, bunlar arasından rüzgar ve güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi daha pratik ve kolaydır [1].

Petrol ve doğal gazın yanısıra, kömür ve nükleer enerji de dünyanın enerji ihtiyacını daha uzun bir süre karşılayabilir [2]. Ancak, hem kömür hem de nükleer enerji ciddi çevre kirliliğine yol açmaktadırlar. Kömür büyük ölçüde madencilik işlemi gerektirdiği gibi, geride kalan alanların başka amaçla kullanımı da güçtür. Ayrıca kömürün yanmasıyla Karbon Dioksit ve Sülfür Dioksit gibi gazlar oluşarak çevre kirliliğine yol açarlar. Nükleer enerjide temel problem ise, artıkların yok edilmesidir [2]. Nükleer artıklar kolayca doğaya karışmamakta, ve etkilerini uzun yıllar sonra bile göstermektedirler. Teknolojik olarak gelişmiş ülkelerde bol miktarda kullanılan bu enerji türüne alternatif olarak rüzgar ve güneş enerjisini kullanma yolları araştırılmaktadır. Ancak stratejik önem taşıdığı için nükleer enerji önemini sürdürmektedir, ve daha uzun yıllar da sürdürecektir.

2. Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ve dünyadaki kullanımı

Tablo 1 deki istatistik bilgilerine göre yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkemiz kurulu gücüne hiçbir katkısı yoktur [3]. Bu kaynakların elektrik üretiminde kullanımına yönelik çalışmalar henüz sadece Türkiye Elektrik İşleri Etüt (EİE) İdaresi Genel Müdürlüğü, ve bazı üniversitelerde kişisel gayretlerle sürdürülen küçük projeler seviyesindedir[4-7]. EİE idaresi, 1990 yılında bir proje başlatarak ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyelini tespit etmek için bazı merkezlere gözlem istasyonları kurmuştur [8]. Dünyadaki uygulamalarına bakıldığında, ABD, Danimarka, Hollanda, Almanya, Hindistan, Çin ve Kanada başta olmak üzere yaklaşık 3000 MW lık bir gücün rüzgar türbinlerinden elektrik şebekesine aktarıldığı görülür [8]. Dünyadaki toplam üretim ise 4250 GW düzeylerine ulaşmıştır [8].

Tablo 1. 1994 yılı sonu itibariyle Türkiye'deki termik santrallerde üretilen elektrik gücünün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı [3].

Kaynak	Kurulu Gücü (MW)	% si
Taşkömürü	352.6	3.2
Linyit	5861.2	53.32
Fuel-oil	1532.7	13.94
Motorin	393.5	3.579
Jeotermal	15.0	0.136
Doğal gaz	2823.9	25.688
Diğer	13.8	0.125
Toplam	10 992.7	100.0

Özellikle çevre kirliliği ile ilgili problemler arttıkça yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmış ve bunlarla ilgili projeler de destek görmeye başlamıştır. Tahminlere göre 2025 yılına kadar üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %10-15 kadarlık bir bölümü yenilenebilir/alternatif enerji kaynaklarından karşılanacaktır. Halahazırda, Danimarka elektrik ihtiyacının %5 ini kıyı rüzgarlarından sağlamaktadır. İsveç, nükleer santrallerden elektrik üretimini aşamalı olarak devre dışı bırakıp yerine rüzgar, güneş ve diğer alternatif enerji kaynaklarını kullanmayı planlamaktadır. Üretim aşamasındaki teknolojik gelişmelerin de yardımıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin maliyeti gün geçtikçe düşmekte [9], bu da yenilenebilir enerji kaynaklarını daha cazip hale getirmektedir. ABD, Danimarka ve İsveç'de kullanıcılara satılmak üzere rüzgar türbinlerinden üretilen elektrik enerjisinin fiyatı \$1000/kW lık bir kuruluş masrafı ile \$0.04-0.06/kWh civarındadır.

Belirli bir biçime ve kristal bir yapıya sahip olmayan %18-22 gibi yüksek verimli ince film teknolojisi ile üretilen fotovoltaj (FV) güneş pilleri de fiat bakımından verimli elektrik enerjisi sağlayabilirler. !980 den 1995 yılına kadar, FV pillerin ürettiği tepe güç (Watt peak - WP) fiatı ABD doları bazında, \$10/WP den \$1-2/WP değerine düşmüştür. Bu fiatın 2000 yılına kadar \$0.1-0.2/WP değerine düşmesi beklenmektedir [10]. Malzeme bilimi ve Galyum Arsenid birleşiminde uygulanan teknolojik gelişmeler, 1kW lık bir FV panelin kuruluş maliyetinin \$800-1000 civarında olacağı umudunu vermektedir. Bu miktar fuel oil, kömür vb. yakıtlarla klasik olarak elde edilen elektrik ile rekabet edebilecek değerdedir. Bu kıyaslamalar FV güneş pillerinin kullanılmasıyla elde edilecek elektrik enerjisinin yakın bir gelecekte daha da önemli hale geleceğine işarettir. Rüzgar türbini ve FV güneş pili panellerinden oluşacak birleşik bir güç istasyonu ulusal elektrik şebekesine önemli bir destek olabilir.

3. Türkiye’de yapılmış bazı çalışmalar ve potansiyel

3.1. Güneş Enerjisi

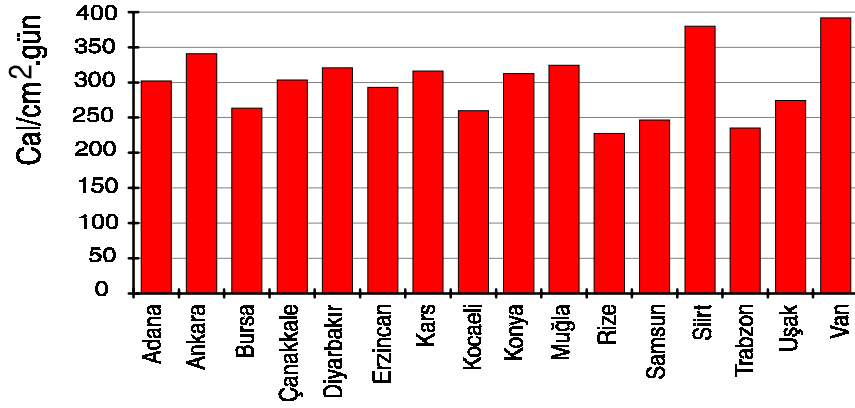
EİE İdaresi Genel Müdürlüğüne gerçekleştirilen bir kaç küçük proje ile FV pil panellerinden elektrik enerjisi üretimi incelenmiş [11,12] ve 1983 yılında EİE ile Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ortaklaşa metal-yalıtkan-yarıiletken türü 2 WP gücünde bir güneş pili panelini yerli imkanlarla üretmişlerdir [13]. 1985 yılında ise yaklaşık 1.2 kWp lik bir FV pil sistemi EİE tesislerinde kurulmuş, ayrıca zırai sulama amacıyla yurt dışından getirilen bir sistem de Atatürk Orman Çiftliğinde tesis edilmiştir [13]. Başbakanlık Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün değişik yörelerde ölçerek yayınladığı, *Deniz suyu sıcaklıkları, güneşlenme müddeti, güneş ışınları şiddeti, ve açık ve kapalı günler bülteni* [14] ne göre, ülkemizde FV güneş paneli kurarak elektrik üretmek için gerekli güneş enerjisi potansiyeli mevcuttur. Söz konusu bültende yayınlanan, bazı merkezlere ilişkin güneş ışınları şiddetinin günlük kalori toplamının aylık ve yıllık ortalaması Tablo 2 de verilirken, tablodakilere ek olarak diğer bazı merkezlerin güneş ışınları şiddetinin günlük kalori toplamının yıllık ortalaması da Şekil 1 de verilmektedir.

Tablo 2. Türkiye’deki bazı merkezlerde güneş ışınları şiddetinin günlük kalori toplamının aylık ve yıllık ortalaması (Cal/cm².gün) [14].

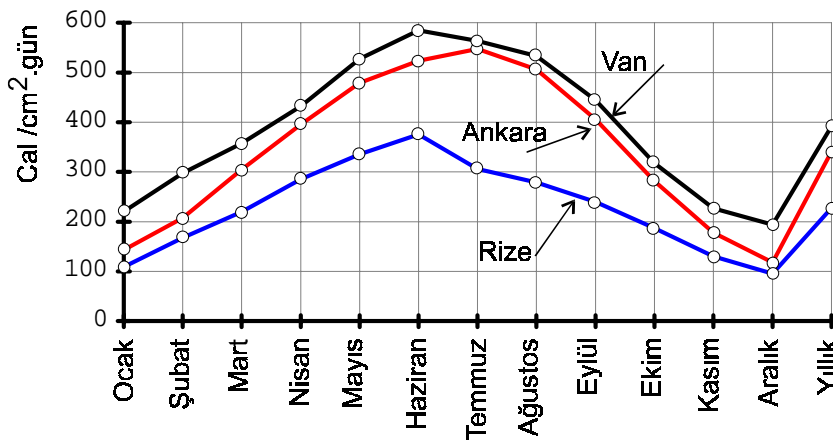
	Adana	Ankara	Çanakkale	Erzincan	Kars	Rize	Siirt	Trabzon	Van
Ocak	146.11	143.15	121.82	140.78	175.77	108.68	179.66	116.21	220.46
Şubat	200.62	207.84	175.39	204.39	244.44	167.40	249.23	168.96	297.48
Mart	238.91	304.59	265.39	259.67	334.56	219.68	352.66	228.40	357.27
Nisan	320.63	395.31	362.86	338.53	357.77	285.29	387.06	292.89	432.38
Mayıs	403.16	479.19	446.99	379.42	393.52	335.55	525.92	334.28	527.47
Haziran	419.57	523.60	486.78	442.63	461.62	375.40	597.91	384.95	584.78
Temmuz	442.24	547.62	488.09	475.43	476.10	305.77	561.78	343.05	563.51
Ağustos	434.43	506.33	442.06	423.53	430.87	278.72	544.08	302.19	533.00
Eylül	384.17	405.88	343.88	330.13	353.89	239.48	455.92	240.49	444.20
Ekim	261.24	281.79	239.94	241.89	247.65	186.90	324.10	181.06	317.42
Kasım	174.13	178.12	154.05	159.45	170.04	130.29	222.13	129.97	227.02
Aralık	122.58	118.30	114.17	121.49	146.07	95.75	160.32	98.21	194.12
Yıllık	301.90	340.98	303.37	293.11	316.02	227.41	380.06	235.39	391.59

Bir kıyaslama yapabilmek için yıllık ortalaması en küçük olan Rize ve en büyük olan Van ile ara değerlere sahip Ankara’nın güneş ışınları şiddetinin günlük kalori toplamının aylık ortalamaları Şekil 2 de birlikte çizilmiştir. Genel olarak her üç il için de, bu ortalamaların değişimi benzerdir. Kış aylarında ortalamalar düşük, yaz aylarında ise yüksektir. Bu üç ile ilişkin veriler Türkiye geneli için bir fikir edinmek için yeterlidir. Çünkü, diğer merkezlere ilişkin eğriler Rize ve Van’ı temsil eden eğriler arasında kalacaktır. Şeklin karmaşık bir hal almaması için diğer merkezlere ilişkin veriler dahil edilmemiştir.

FV pillerinin verdiği elektrik gücünden söz edilirken genellikle mW/cm² yada kW/m² birimleri kullanılarak, cm² yada m² deki ışık şiddetinin verdiği elektrik gücünün ortalama veya tepe değeri Watt cinsinden ifade edilir. Oysa yukarıda verilen tablo ve şekillerde Cal/cm².gün birimi kullanılmış ve bir gün boyunca cm² deki Kalori miktarlarının aylık ortalamaları belirtilmiştir. Tablo 3 de ise Türkiye’deki bazı merkezlerde güneş ışınları şiddetinin aylık en yüksek değeri verilmektedir. FV pil panellerinin tasarımında bu en yüksek tepe değerler önemli olduğundan burada verilmesi faydalı bulunmuştur.



Şekil 1. Güneş ışınları şiddetinin günlük kalori toplamının yıllık ortalaması.



Şekil 2. Ankara, Rize ve Van illerindeki güneş ışınları şiddetinin günlük kalori toplamının aylık ortalamaları.

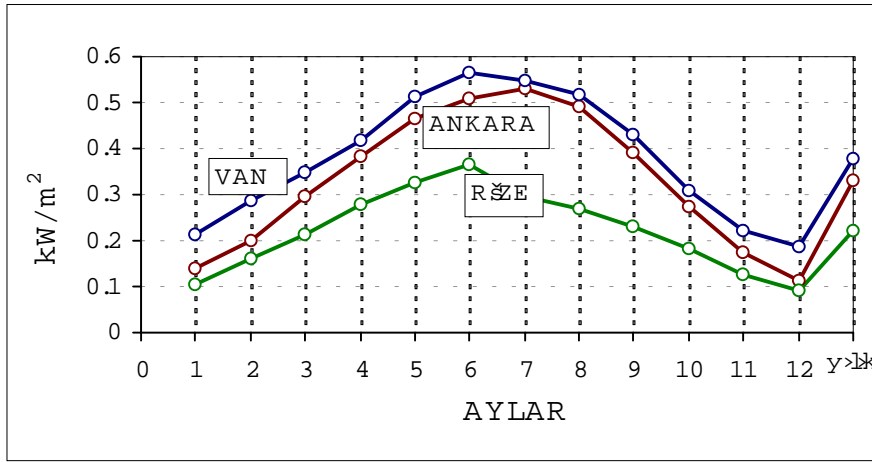
Tablo 3. Bazı merkezlerde güneş ışınları şiddetinin aylık en yüksek değerleri (cal/cm².dk) [15].

	Adana	Ankara	Çanakkale	Erzincan	Kars	Rize	Siirt	Trabzon	Van
Ocak	0.80	1.15	0.91	0.97	1.15	0.87	1.33	0.82	1.22
Şubat	0.96	1.50	1.10	1.45	1.30	1.06	1.30	1.05	1.42
Mart	1.14	1.80	1.27	1.34	1.53	1.36	1.60	1.32	1.59
Nisan	1.27	2.00	1.37	1.45	1.54	1.37	1.64	1.40	1.57
Mayıs	1.31	2.00	1.55	1.44	1.62	1.41	1.64	1.45	1.74
Haziran	1.29	1.97	1.45	1.50	1.58	1.45	1.51	1.45	1.47
Temmuz	1.26	1.80	1.32	1.46	1.55	1.34	1.40	1.36	1.47
Ağustos	1.20	1.71	1.28	1.42	1.51	1.30	1.38	1.35	1.44
Eylül	1.27	1.70	1.26	1.33	1.37	1.29	1.37	1.28	1.44
Ekim	1.03	1.95	1.17	1.19	1.24	1.13	1.35	1.09	1.33
Kasım	0.81	1.15	0.99	1.12	1.00	1.04	1.28	0.92	1.22
Aralık	0.79	1.75	0.91	0.87	1.09	0.84	1.15	0.79	1.15
YILLIK	1.31	2.00	1.55	1.50	1.62	1.45	1.64	1.45	1.74

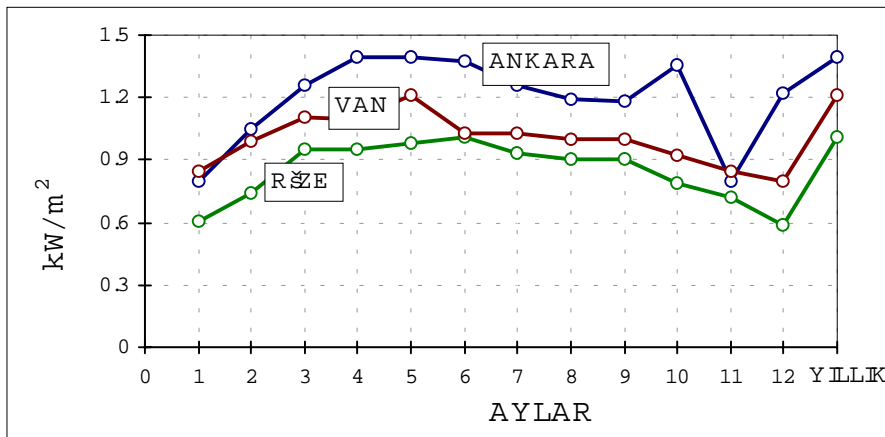
Bu tablo ve şekillerdeki değerlerin daha anlaşılır hale gelmesi için, bunların mW/cm² yada kW/m² cinsinden ifade edilmeleri gerekir. Bu nedenle Tablo 2 ve Tablo 3 de verilen değerlerin, sadece gündüz, 12 saat süresince alındığı kabul edilerek. Ankara, Van ve Rize

için kW/m^2 cinsinden düzenlenmiş biçimleri Şekil 3 ve 4 de verilmektedir. Bu 12 saatlik süre mevsimlere göre değişik olabilir. Daha gerçekçi değerler için günlük gün ışığı süresi de dikkate alınmalı ve 12 saat yerine bu süre kullanılmalıdır. Kaynak [14] de bu gün ışığı süreleri de verilmektedir, ancak burada bir fikir yürütülebilmesi bakımından gün ışığı süresi 12 saat kabul edilmiştir.

Şekil 3 ve 4 de verilen değerler aslında dünya ortalamalarının üzerinde olup, özellikle Ankara ve Van illeri için fotovoltaiik elektrik enerjisinin kullanılması Rize iline göre daha uygun ve verimli görülmektedir. Rize ili en yağışlı ve en az güneş alan il olduğu için bu sonucun çıkması normaldir. Rize ve Doğu Karadeniz Bölgesindeki diğer bazı yerleşim yerleri dışında, diğer bütün illere ilişkin veriler, fotovoltaj pil panellerinin kullanılmasını uygun kılmaktadırlar.



Şekil 3. kW/m^2 cinsinden Ankara, Rize ve Van illerindeki güneş ışınları şiddetinin günlük kalori toplamının aylık ortalamaları.



Şekil 4. kW/m^2 cinsinden Ankara, Rize ve Van illerindeki güneş ışınları şiddetinin aylık en yüksek değerleri.

3.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisinin kullanımına bir göz atıldığında, yüzyıllar boyunca kullanılan bir enerji türü olduğu görülür. Örneğin, yel değirmenlerinin milini döndürmede, yelkenli gemilerin yüzdürülmelerinde, su pompalama sistemlerinde kullanılmıştır. Günümüzde ise, klasik enerji kaynaklarına bir alternatif olarak, elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, rüzgar enerjisi, kararsız yapısı nedeniyle, klasik enerji kaynaklarına ek bir kaynak olarak kullanılmaktadır.

Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemler bu yüzyılın başlarında tesis edilmeye başlanmış, ve 1910 yılına kadar 5 ile 25 kW lık güçler üretebilen tesisler hizmete konmuştur. Günümüzde çok daha yüksek güçlerde elektrik enerjisi üreten rüzgar santralleri tesis edilmiştir. Özellikle 1970'li yılların ilk yarısında dünyayı etkileyen enerji krizi sonrasında alternatif enerji kullanımı ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Güneş enerjisinin yanı sıra, rüzgar enerjisi de bu çalışmalardan payını almış ve kullanımı hızla artmıştır.

Türkiye'de kurulmamasına rağmen, dünyada bir çok ülke, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde edip kullanmaya başlamış bulunmaktadır. ABD, Danimarka, Hollanda, Almanya, Kanada, Hindistan ve Çin başta olmak üzere diğer birçok ülkede rüzgar santralleri tesis edilmiş, yaklaşık 3000 MW şebeke bağlantılı kurulu güç olmak üzere, toplam üretim yaklaşık 4250 GWh düzeyine ulaşmıştır. 2020 yılında bu üretimin yaklaşık 900 TWh/yıl düzeyini bulacağı tahmin edilmektedir [15]. Türkiye'deki çalışmalar ise ülkenin rüzgar enerjisi potansiyelini ölçme çalışmalarının yapıldığı bir aşamadır. 1994 yılı verilerine göre EİE idaresi bu amaçla 10 adet gözlem istasyonu kurmuştur [15]. Bazı ülkelerin tahmini rüzgar enerjisi potansiyeli ve hedefleri Tablo 4 de verilmektedir.

Tablo 4. Bazı ülkelerin tahmini rüzgar enerjisi potansiyelleri ve hedefleri [15].

Ülke	Tahmini Kaynak	Hedef	1992 yılı itibarıyla Şebekeye bağlı elektrik üretimi (kWh)
Çin	1600 GW	2000 yılında 100-200 MW	21 milyon
Danimarka	-	1995 yılında 4 TWh/Yıl	900 milyon
Mısır	-	2000 yılında 1250 MW	-
Finlandiya	11-16 TWh/yıl	2000 yılında 20-35 MWe	-
Almanya	2670 MW ek potansiyel	1995 yılında 250 MW	275 milyon
Amerika	2500 GW	2000 yılında 4000-8000 MW	2734 milyon
İsrail	1000 MW	2000 yılında 200 MW	-
Hollanda	-	2000 yılında 1000 MW	150 milyon

Tablo 2.3 den de anlaşılacağı gibi, enerji ihtiyacını gidermek için çözüm arayan ülkeler, rüzgar enerjisini kullanmak için gerekli adımlarını atmış, hatta gelecekteki potansiyellerini belirlemek amacıyla da çalışmalar yapmaktadırlar. Dikkat edilirse, rüzgar enerjisini kullanan ve Tablo 4 de sıralanan ülkeler, aynı zamanda güneş enerjisini de kullanan ülkelerdir. Bu ülkelerin bir başka ortak özellikleri daha vardır. Bu da hemen hemen hepsinin teknolojik olarak gelişmiş olmalarıdır. Görüldüğü gibi rüzgar enerjisinden elde edilen elektrik gücü bu ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir yere sahiptir.

4. Sonuç

Yenilenebilir enerji kaynaklarından, özellikle rüzgar ve fotovoltaik güneş enerjisinden, elektrik enerjisi elde edilip kullanılması gelişmiş ülkelerde artık tartışılmaktan çıkmış, uygulamaya konulmuştur. Türkiye bu enerji kaynakları bakımından yeterli potansiyele sahiptir. Artan enerji açığının kapatılması için rüzgar ve fotovoltaik güneş enerjisinden de elektrik enerjisi elde edilerek ana sisteme destek sağlanabilir. Özellikle ulusal şebeke ağından uzak olan yerlerde; tatil köyü/dağ evi gibi birimlerin elektrik ihtiyacının karşılanmasında ve tarımsal amaçlı su pompalama uygulamalarında fotovoltaik güneş enerjisinden yararlanılabilir.

Kaynaklar

- [1]. J.W. Twidell and A.D. Weir, "Renewable Energy Resources", E.& F.N. Spon Ltd., London, New York, 1986.
- [2]. G.L. Johnson, "Wind Energy Systems", Prentice Hall, 1985.
- [3]. - , "TEAŞ İstatistikleri - Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri - 1994 Yıl sonu", Türkiye Elektrik Üretim - İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Araştırma Dış Ekonomik İlişkiler ve İstatistik Müdürlüğü, APK-369, Genel Kod No: 10/1-212, Kasım 1995.
- [4]. İ. H. Altaş and A. M. Sharaf, "A Fuzzy Logic Power Tracking Controller For A Photovoltaic Energy Conversion Scheme", *Electric Power Systems Research Journal*, Vol.25, No.3, 1992, pp.227-238.
- [5]. İ.H. Altaş and A.M. Sharaf, "A Novel On-Line MPP Search Algorithm For PV Arrays", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 11, No. 4, December 1996, pp. 748-754.
- [6]. İ. H. Altaş and A. M. Sharaf, "A Solar Powered Permanent Magnet DC Motor Drive Scheme", *The Proceedings of the 17th Annual Conference of the Solar Energy Society of Canada Inc.*, June 21-26, 1991, Toronto, Ontario-Canada, pp. 65-70.
- [7]. İ. H. Altaş and A. M. Sharaf, "A Chopper Controlled DC-Series Motor Drive System Powered From A Solar Cell Array", *The proceedings of The Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, September 13-15, 1992, Toronto, Ontario, Canada, pp.WA8.30.1-WA8.30.4.
- [8]. - "Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği - Türkiye Şubesi Bülteni", EİE Genel Müdürlüğü, Eskişehir Yolu 7. km., 06520 Ankara, Sayı :1, Şubat 1995.
- [9]. K.E. Yeager, "Electric Vehicles and Solar Power: Enhancing the Advantages of Electricity", *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 12, No.10, October 1992.
- [10]. M.A. Green, "Solar Cells - Operating Principles, Technology, and System Applications", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, 1982.
- [11]. F.B. Aleçakır, "Güneş Enerjisinin Küçük ölçekli Ziraî Sulamada Kullanılmasının Araştırılması Projesi", EİE İdaresi Genel Müdürlüğü, Yayın No: 89-15, Şubat 1989.
- [12]. O. Erişti, "Güneş Evi PV Sistemi Sonuç Raporu", EİE İdaresi Genel Müdürlüğü, Yayın No: 92-11, Mart 1992.
- [13]. -, "Güneş Pilleri", EİE İdaresi Genel Müdürlüğü, Eskişehir Yolu 7. km., 06520 Ankara 1992.
- [14]. -, "Deniz Suyu Sıcaklıkları, Güneşlenme Müddeti, Güneş Işınını Şiddeti, ve Açık ve Kapalı Günler Bülteni, T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, 1984.
- [15]. A. Temiz, "Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Potansiyel Rolü", Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği- Türkiye Şubesi Bülteni, Sayı: 1, Şubat 1995, Ankara, Sayfalar:10-17.