Adıyaman University
Journal of Engineering Sciences
Adyü J Eng Sci 2025;12(26):293-304
Adıyaman Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
Adyü Müh Bil Derg 2025;12(26):293-304
https://doi.org/10.54365/adyumbd.1707398

Research Article / Araştırma Makalesi

Adıyaman İlinde Bulunan Güneş Fotovoltaik, Rüzgar ve Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Durumu ve Türkiye Ortalamasına Göre Konumu

Situation of Solar Photovoltaic, Wind and Hydroelectric Power Plants Located in Adiyaman City and Their Position in Türkiye's Average

Turhan Koyuncu [1] *, **Fuat Lüle** [1]

[1] Adıyaman Üniversitesi, TBMYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Türkiye.

Öz

Bu çalışmada; Adıyaman il sınırları içerisinde bulunan ve verileri elde edilen güneş fotovoltaik (GES), rüzgar (RES) ve hidroelektrik (HES) enerji santrallerinde 1 MW kurulu güç başına 1 yılda üretilen elektrik enerjisi (MWh/MW.yıl) ile bu santrallerin 1 MW kurulu güçte yıllık ortalama gün başına düşen çalışma süreleri (h/gün) hesaplanmıştır. Adıyaman ili sınırları içerisinde yer alan GES, RES ve HES'lerin ortalama kapasite faktörü (KF) ile Türkiye'deki bu santrallerin ortalama KF değerleri de belirlenerek birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar bize Adıyaman ilinde kurulu GES, RES ve HES'ler için kurulu güç başına elektrik enerjisi üretiminin sırasıyla 1626, 1660 ve 2878 MWh/MW.yıl olduğunu göstermiştir. Bu santrallerin günlük ortalama çalışma süreleri de sırasıyla 4.45, 4.55 ve 7.89 saat olarak belirlenmiştir. Bu veriler Türkiye ortalama değerleri ile karşılaştırıldığında; GES ortalama değerinin Türkiye değeri ile benzer olduğu, Türkiye RES ortalama değerinin Adıyaman ortalama değerinden %68 fazla, Adıyaman HES ortalama değerinin ise Türkiye ortalama değerinden %14 daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Adıyaman, HES, GES, RES, KF*

Abstract

In this study; the electrical energy produced per MW installed power in a year (MWh/MW.year) by solar photovoltaic (SPP), wind (WPP) and hydroelectric (HPP) power plants located within the borders of Adıyaman City and the annual average daily operating hours of these plants per MW installed power (h/day) were calculated. The average capacity factor (CF) of the SPP, WPP and HPPs located within the borders of Adıyaman City and the average CF values of these power plants in Türkiye were also determined and compared with each other. The results showed us that the electrical energy production per installed capacity for SPP, WPP and HYP installed in Adıyaman province was 1626, 1660 and 2878 MWh/MW.year, respectively. The daily average working hours of these plants were also determined to be 4.45, 4.55 and 7.89 h, respectively. When these data were compared with the average values in Türkiye, it was concluded that the SPP average value was similar to Türkiye value, the Türkiye WPP average value was 68% higher than Adıyaman average value and the Adıyaman HPP average value was 14% higher than Türkiye value.

Keywords: *Adiyaman, HPP, SPP, WPP, capacity factor*

* Sorumlu yazar e-posta (Corresponding e-mail): tkoyuncu@adiyaman.edu.tr
Geliş Tarihi (Received):27.05.2025, **Kabul Tarihi (Accepted):** 05.08.2025

1. Giriş

Dünyada enerjiye olan talebin artması konvansiyonel enerji kaynaklarına olan ilgiyi de artırmıştır. Bu durum bilim insanlarını yenilenebilir enerji kaynakları alanında araştırmalar yapmaya yöneltmiştir [1, 2]. Konvansiyonel enerji kaynakları çevre kirliliğine, küresel ısınmaya ve sera etkisine neden olmakta ve bunun sonucu olarak da ozon tabakası giderek incelmektedir. Bu sorunu çözmek için; temiz, sonsuz ve yenilenebilir olan güneş, rüzgar ve hidrolik gibi enerji kaynakları alternatif enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir. Örneğin, bu alternatif kaynakların temelini ve esasını oluşturan güneş enerjisinin dünyamıza ulaşan ortalama miktarı, dünyanın toplam enerji tüketiminin 6000 katıdır. Kolay ulaşılabilir, temiz, bakım gerektirmeyen bu enerji sistemlerinin geliştirilmesi, fosil yakıt tabanlı sistemlere öncelikli alternatif olarak görülmektedir [3, 4, 5]. Bu nedenle, bu enerjilere ilişkin akademik çalışmalar hızla artmaktadır. Özellikle; bu enerji kaynaklarından yararlanarak şebeke sistemlerine elektrik sağlanması çok cazip hale gelmektedir. [6, 7]. Bu durumda; bahsi geçen bu enerji kaynaklarının birim MW kurulu güç başına üretilen elektrik enerjisi olan MWh/MW değeri de, sistemlerin verimliliğinin birbiriyle karşılaştırılması bakımından önem kazanmaktadır [8, 9]. Bu enerji kaynaklarına ilişkin söz konusu değerlerin saptanmasına yönelik akademik çalışmalar Litvanya, Bahamalar ve Bahreyn gibi çok sayıda farklı ülkelerde yapılmıştır [10, 11, 12]. İşte, Adıyaman'ın konuya ilişkin durumunu belirlemek için de söz konusu veriler elde edilerek değerlendirilmiştir. Bunun için de öncelikle Adıyaman'ın genel elektrik enerjisi tüketimine ilişkin durumunun bilinmesi gerekmektedir.

Elektrik dağıtım şirketlerinden elde edilen verilerden, Adıyaman ilinin 2019, 2020 ve 2021 yıllarına ait elektrik enerjisi tüketimi incelendiğinde; sırasıyla 814925190 kWh, 831822620 kWh ve 898644450 kWh olduğu belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, yıllık artışın %2-7 arasında değişim gösterdiği ve ortalama artışın %4-5 civarında olduğu görülmüştür. Söz konusu dönemde yaklaşık 800000 – 900000 MWh yıllık elektrik enerjisi tüketimi olan Adıyaman ilinin bu verileri dikkate alındığında; acaba bu elektrik ihtiyacı temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan güneş fotovoltaik, rüzgar ve hidroelektrik enerji santralleriyle karşılanabilir mi sorusuna yanıt bulmak, gelecekteki elektrik üretim santrallerini planlamak bakımından kritik öneme sahiptir. Bu sorunun yanıtına ulaşabilmek için bu çalışmada; Adıyaman il sınırları içerisinde bulunan güneş fotovoltaik (GES), rüzgar (RES) ve hidroelektrik (HES) enerji santrallerinde 1 MW kurulu güç başına 1 yılda üretilen elektrik enerjileri (MWh/MW.yıl) ile bu santrallerin 1 MW kurulu güçte yıllık ortalama gün başına düşen çalışma süreleri (h/gün) hesaplanmıştır. İlgili şirketlerden elde edilen bu değerler hem birbirleriyle karşılaştırılarak farklı enerji kaynaklarından beslenen santrallerin durumu saptanmış ve hem de Türkiye ortalamaları ile karşılaştırılarak Adıyaman ilinin Türkiye ortalamasına göre konumu belirlenmiştir. Ayrıca, Adıyaman ili sınırları içerisinde yer alan GES, RES ve HES'lerin ortalama kapasite faktörü (KF) ile Türkiye'deki bu santrallerin ortalama KF değerleri belirlenerek birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra; aynı dönem için Türkiye'nin kaynak bazında yenilenebilir enerji kurulu güç gelişimi, elektrik üretiminin gelişimi ve kurulu gücün kaynak bazında dağılımı incelenmiş ve Dünya elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

Çalışmada yöntem olarak literatürde yer alan; GES, RES ya da HES'in birim kurulu gücü başına üretilen yıllık elektrik enerjisi miktarı değerleri karşılaştırılarak kullanılmıştır. Özetle; elektrik santrali tarafından bir yılda üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı, santralin toplam kurulu gücüne oranlanarak, elektrik enerjisi üretimi belirlenmiştir. Böylece; farklı teknik özelliklere sahip olan ve değişik enerji kaynaklarını kullanan bu santrallerin verilerinden elde edilen bu oransal değerler santrallerin karşılaştırılmasına olanak sunmuştur. Bu oranlar farklı literatürlerde farklı birimlerde verilmekle birlikte, çalışmamızda MWh/MW birimi ile verilmiştir. Ancak farklı kaynaklarda; TWh/MW, GWh/MW ve MWh/kW gibi birimlerle de verimiştir [10, 11, 12]. Çalışmada materyal olarak ise; seçilen ildeki santrallere ilişkin veriler kullanılmıştır. Adıyaman il sınırları içerisinde yer alan, aktif olarak faaliyetini sürdüren ve farklı lokasyonlarda bulunan istasyonlardaki GES (Güneş Enerji Santralleri), RES (Rüzgar Enerji Santralleri) ve HES (Hidroelektrik Enerji Santralleri)'lere ilişkin bazı teknik veriler aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir. Bu veriler, santralleri işleten ilgili firmalarla ayrı ayrı kurulan iletişim sonucunda birincil kaynaklardan elde

edilmiştir. Bu santraller içerisinde yer alan RES, Adıyaman il sınırları içerisinde aktif olarak faaliyet gösteren tek RES olup Sincik lokasyonunda bulunan 1 istasyondan ve 11 santralden oluşmaktadır. GES ve HES'ler ise farklı lokasyonlarda bulunan, farklı istasyon ve santral sayılarından oluşmaktadır.

Çizelge 1. Adıyaman il sınırları içerisinde yer alan ve aktif olarak faaliyetini sürdüren GES, RES ve HES'lere ilişkin bazı teknik veriler

Santral Tipi	Santral Sayısı (Adet)	Toplam Kurulu Güç (MW)	Ortalama Kurulu Güç (MW/Adet)	Yıllık Toplam Net Elektrik Üretimi (MWh/yıl)	Kurulu Güç Başına Yıllık Net Elektrik Üretimi (MWh/MW.yıl)	1 MW Kurulu Güçte Ortalama Günlük Çalışma Süresi (h/gün)
GES	164	116	0.71	187334	1615	4.42
RES (SİNCİK)	11	27.5	2.50	44369	1613	4.42
HES	11	85	7.78	241140	2837	7.77

Çizelge 1 incelendiğinde, "Yıllık Net Üretim" teriminin kullanıldığı görülmektedir. Net Üretim; brüt elektrik enerjisi üretiminden santral iç tüketimi çıkarılarak elde edilen bir değerdir. Santralleri işleten ilgili firmalardan elde edilen verilerden GES'ler için net üretimin, brüt üretimin %99.31'ine; RES'ler için net üretimin, brüt üretimin % 97.20'sine ve HES'ler için ise net üretimin, brüt üretimin %98.56'sına eşit olduğu saptanmıştır. Adıyaman il sınırları içerisinde kurulu bulunan GES, RES ve HES'ler için belirlenmiş olan bu değerler bile kendi başına orijinal değerler olup büyük öneme sahiptir. Ayrıca, Adıyaman Halof ve Cendere lokasyonlarında kurulmuş rüzgar gözlem istasyonlarından (RGİ) elde edilmiş verilerin değerlendirilmesi sonucu net olarak üretilebileceği öngörülen MW kurulu güç başına MWh elektrik enerjisi ve 1 MW kurulu güçte ortalama günlük çalışma süresi belirlenmiş olup Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilmiştir. Bunun yanı sıra, Halof, Cendere ve Sincik RES istasyonlarına ilişkin bazı teknik veriler ve ortalama değerler karşılaştırma için Çizelge 4'de de verilmiştir.

Çizelge 2. Adıyaman Halof lokasyonlarında kurulmuş rüzgar gözlem istasyonlarından (RGİ) elde edilmiş verilerin değerlendirilmesi sonucu net olarak üretilebileceği öngörülen MW kurulu güç başına MWh elektrik enerjisi ve 1 MW kurulu güçte ortalama günlük çalışma süresi

Halof Res İstasyonları	Santral Sayısı (Adet)	Toplam Kurulu Güç (MW)	Ortalama Kurulu Güç (MW/Adet)	Yıllık Toplam Net Elektrik Üretimi (MWh/yıl)	Kurulu Güç Başına Yıllık Net Elektrik Üretimi (MWh/MW.yıl)	1 MW Kurulu Güçte Ortalama Günlük Çalışma Süresi (h/gün)
1	10	15	1.5	29939	1940	5.32
2	12	9.60	0.8	16396	1660	4.55
3	10	20	2.0	31719	1542	4.22
4	10	13	1.3	18096	1353	3.71
5	10	13	1.3	18880	1412	3.87
6	10	15	1.5	24715	1602	4.39
7	10	15	1.5	27391	1775	4.86
8	11	9.35	0.85	15971	1.60	4.55
Toplam / Ortalama	**83**	**109.95**	**1.32**	**183107**	**1.665**	**4.56**

Çizelge 3. Adıyaman Cendere lokasyonlarında kurulmuş rüzgar gözlem istasyonlarından (RGİ) elde edilmiş verilerin değerlendirilmesi sonucu net olarak üretilebileceği öngörülen MW kurulu güç başına MWh elektrik enerjisi ve 1 MW kurulu güçte ortalama günlük çalışma süresi

Cendere Res Istasyonlari	Santral Sayisi (Adet)	Toplam Kurulu Güç (MW)	Ortalama Kurulu Güç (MW/Adet)	Yıllık Toplam Net Elektrik Üretimi (MWh/yıl)	Kurulu Güç Başına Yıllık Net Elektrik Üretimi (MWh/MW.yıl)	1 MW Kurulu Güçte Ortalama Günlük Çalişma Süresi (h/gün)
1	11	16.5	1.5	47994	2828	7.75
2	15	12	0.8	28723	2327	6.37
3	11	22	2.0	50288	2222	6.09
4	13	16.9	1.3	34827	2003	5.49
5	13	16.9	1.3	35525	2043	5.60
6	11	16.5	1.5	38750	2283	6.25
7	11	16.5	1.5	40324	2375	6.51
8	15	12.75	0.85	28450	2169	5.94
Toplam / Ortalama	**100**	**130.05**	**1.30**	**304881**	**2344**	**6,42**

Çizelge 4. Halof, Cendere ve Sincik RES istasyonlarına ilişkin bazı teknik verilerin ve ortalama değerlerin karşılaştırılması

RES İstasyonları	Santral Sayısı (Adet)	Toplam Kurulu Güç (MW)	Ortalama Kurulu Güç (MW/Adet)	Yıllık Toplam Net Elektrik Üretimi (MWh/yıl)	Kurulu Güç Başina Yıllık Net Elektrik Üretimi (MWh/MW.yıl)	1 MW Kurulu Güçte Ortalama Günlük Çalişma Süresi (h/gün)
Halof Res	83	109.95	1.32	183107	1665	4.56
Cendere Res	100	130.05	1.3	304881	2344	6,42
Sincik Res	11	27.5	2.5	44369	1613	4.42
Toplam / Ortalama	194	267.5	1.38	532357	1990	5.45

Ülkemizin genel olarak aynı dönemdeki GES, RES ve HES'lerinin durumuna bakarak Adıyaman ilinin ülke içerisinde bulunduğu konumu belirlemek mümkündür. Bunun için Türkiye'ye ilişkin verilere göz atmak gerekmektedir. Türkiye'nin 2020 yılı verilerine göre toplam elektrik santrali kurulu gücü 95891 MW ve üretimi ise 305485000 MWh'dir. Çizelge 5'de GES, RES ve HES'lerin kurulu güçleri, üretilen elektrik enerjisi miktarı ve Türkiye'nin genel toplamı içerisindeki payları yüzde olarak parantez içerisinde verilmiştir. Ayrıca Adıyaman iline ilişkin yukarıdaki çizelgelerde verilen değerlerden; santrallerin kurulu gücü MW, yıllık üretilen elektrik enerjisi MWh/yıl, kurulu güç başına üretilen yıllık elektrik enerjisi miktarı MWh/MW.yıl ve santralin 1 MW kurulu güçte ortalama günlük çalışma süresi h/gün olarak verilmiş ve Türkiye'nin genel ortalama değerleri ile karşılaştırılarak ilin, ülke içerisindeki genel görünümüne ilişkin fikir sahibi olunmuştur. Bu amaçla Çizelge 5 düzenlenerek bir değerlendirme yapılmıştır. Bu çizelgede, 2020 yılı sonu itibariyle lisanslı ve lisanssız santrallere ilişkin veriler kullanılmış olup net üretim değerleri yerine 2020 yılı toplam üretim değerleri kullanılmıştır. Bu çizelgede Adıyaman RES değerleri için ise, sadece aktif olarak faaliyette bulunan Sincik RES değerleri kullanılmıştır [13, 14].

Çizelge 5. Türkiye'nin GES, RES ve HES'lerinin teknik özellikleri ve Adıyaman İli verileri ile karşılaştırılmaları

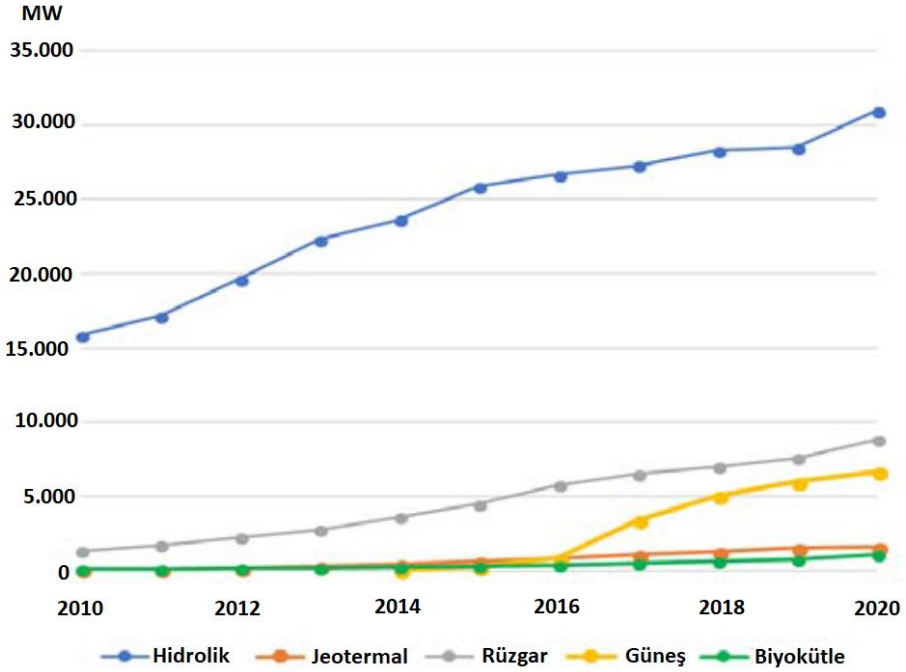
İstasyonlar	Toplam Kurulu Güç (MW)	Yıllık Toplam Elektrik Üretimi (MWh/yıl)	Kurulu Güç Başına Yıllık Elektrik Üretimi (MWh/MW.yıl)	1 MW Kurulu Güçte Ortalama Günlük Çalişma Süresi (h/gün)
GES-Türkiye	6667.42 (%7.0)	11242480 (%3.7)	1686	4.62
GES-Adıyaman	116	188636	1626	4.45
RES-Türkiye	8832.40 (%9.2)	24680830 (%8.1)	2794	7.65
RES (Sincik)-Adıyaman	27.5	45647	1660	4.55
HES-Türkiye	30983.90 (%32.3)	78114950 (%25.6)	2521	6.91
HES-Adıyaman	85	244663	2878	7.89

Elektrik üretim santrallerinde önemli bir gösterge olan kapasite faktörü (KF); elektrik santralinin bir yıl boyunca gerçekte yani pratikte ürettiği toplam elektrik enerjisi miktarının, kurulu güçte yani türbinin nominal güçte çalışması durumunda bir yılda üretmesi gereken elektrik enerjisi miktarına oranına eşittir [14, 15, 16]. Türkiye'de bu oran yani santral kapasite faktörü GES'ler için %18-20 (Ortalama %19), RES ve HES'ler için ise %30-32 (Ortalama %31) civarındadır [17, 18, 19]. Örneğin Çanakkale bölgesinde bulunan RES'lerin KF değerinin %27-32 arasında değiştiği yapılan bir çalışma ile ortaya konmuştur [20]. Adıyaman ilinde bulunan GES, RES ve HES'ler için KF değerleri hesaplandığında; GES'ler için KF değerinin %18.54, RES'ler için KF değerinin %18.95 ve HES'ler için KF değerinin %32.87 civarında olduğu görülmektedir [14, 15, 16]. Ayrıca TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi)'ın 10 yıllık 2012-2021 üretim kapasite projeksiyonu incelendiğine ise; Türkiye'de MW kurulu güç başına MWh olarak yıllık elektrik enerjisi üretiminin (MWh/MW.yıl) ve kurulu güçte ortalama çalışma süresinin GES'ler için 1400 MWh/MW.yıl ve 3.84 h/gün; RES'ler için 2700 MWh/MW.yıl ve 7.39 h/gün; HES'ler için 2000 MWh/MW.yıl ve 5.48 h/gün olduğu görülmektedir [17, 18, 19]. Bunun yanı sıra, Adıyaman ilinin 2020 yılı verilerine göre lisanslı kurulu güçte Türkiye kurulu gücünün % 0.29'una, lisanssız kurulu güçte Türkiye kurulu gücünün % 1.64'üne sahip olduğu görülmektedir. Adıyaman'ın 2020 yılı lisanssız elektrik üretiminin Türkiye içindeki payı %1.80, lisanslı elektrik üretimi ise %0.30 olarak görülmektedir. Türkiye ise aynı yıl için lisanssız elektrik üretiminin %96.27'sini fotovoltaik hücrelerle (PV cell) güneş enerjisinden üretmiştir. Adıyaman'ın 2020 yılı toplam elektrik enerjisi tüketiminin Türkiye içindeki payı ise %0.51 olarak bulunmuştur. Bu tüketimin dağılımının ise; aydınlatma 33790 (%2.81), mesken 280696 (%23.37), sanayi 583885 (%48.65), tarımsal sulama 56835 (%4.71) ve ticarethane 245725 (%20.46) MWh biçiminde olduğu görülmektedir.
Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir ve temiz olan Güneş, rüzgar ve hidrolik potansiyeli ile bunların aktif olarak kullanılan miktar ve oranları ile bu kaynaklardan yıllık üretilebilen elektrik enerjisi miktarları Çizelge 6'da verilmiştir [21]. Bu çizelgede verilen değerlerin incelenmesi ve karşılaştırılması ile aslında ülkemizin bu enerji kaynakları bakımından zenginliğinin farkına varılması amaçlanmıştır. Özellikle yenilenebilir ve temiz olan güneş enerjisinin sadece %3'ünün elektrik üretiminde kullanılabiliyor olması, bu konuda yapılması gereken yatırımların ne kadar büyük önem taşıdığını gözler önüne sermektedir.

Çizelge 6. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir ve temiz olan Güneş, rüzgar ve hidrolik potansiyeli, bu kaynakların aktif olarak kullanılan miktar ve oranları ve bu kaynaklardan yıllık üretilebilen elektrik enerjisi miktarları

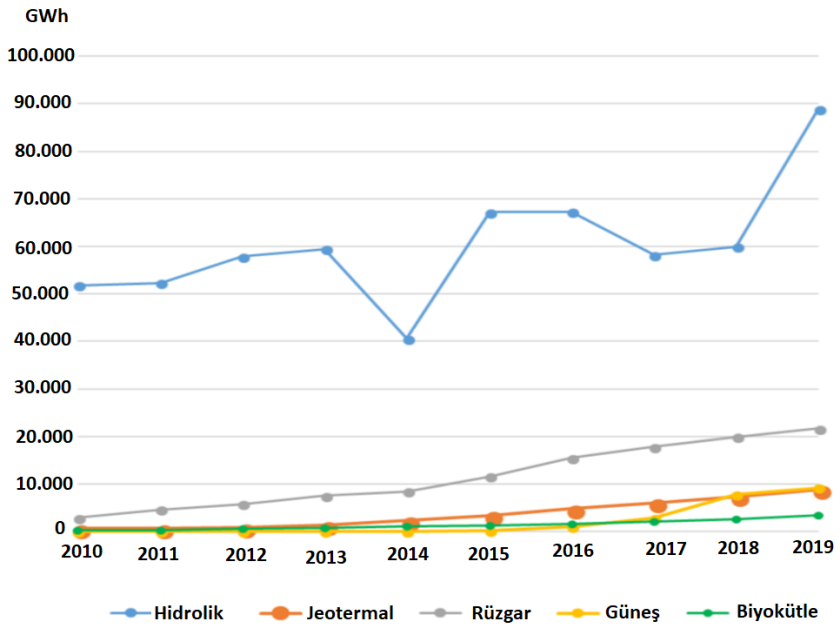
Kaynaklar	Mevcut Potansiyel	Aktif Olarak Kullanılabilen	Kullanılan / Potansiyel	Yıllık Üretim (MWh/yıl)
Güneş	380000000 MWh/yıl	11500000 MWh/yıl	%3.0	
Rüzgar	48000 MW	8761 MW	%18.4	25000000
Hidrolik	45000 MW	30948 MW	%68.0	78116000

Ayrıca Türkiye'nin kaynak bazında yenilenebilir enerji kurulu güç gelişimi, elektrik üretiminin gelişimi ve 2020 yılı sonu itibariyle lisanslı ve lisanssız kurulu gücün kaynak bazında dağılımı sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3'de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde; 2010 ve 2020 yılları arasındaki 10 yıllık periyotta, hidrolik enerji kurulu gücünün yaklaşık 16000 MW'dan 32000 MW'a çıktığı, rüzgar ve güneş enerjisi kurulu gücünün arttığı ancak 10000 MW'ın altında kaldığı, jeotermal enerjide ise bir hareketlenme olduğu görülmektedir.



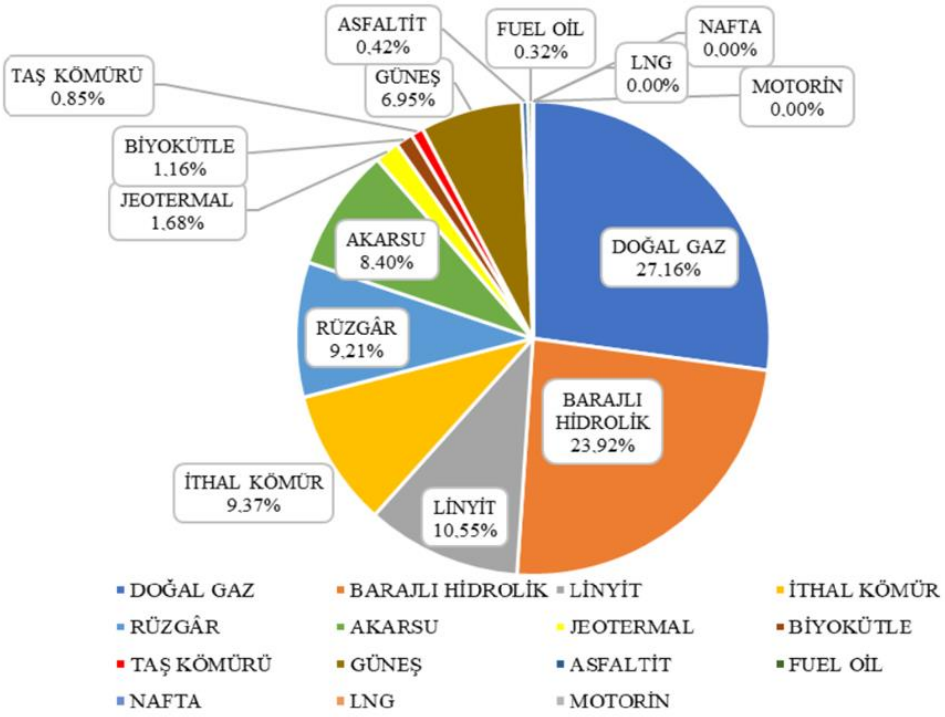
Şekil 1. Türkiye'nin kaynak bazında yenilenebilir enerji kurulu güç gelişimi.

Şekil 2'de verilen, Türkiye'nin kaynak bazında yenilenebilir enerji elektrik üretiminin gelişimi incelendiğinde; üretimle kurulu güç eğrilerinin benzerlik gösterdiği, hidrolik enerjiden üretilen elektrik enerjisi miktarının meteorolojik ya da iklimsel koşullar nedeniyle yıllar bazında dalgalandığı görülmektedir. Burada dikkat çeken; jeotermal enerji santrallerinin kurulu güçlerinin güneş enerjisi kurulu gücünün çok altında olmasına rağmen her iki santral tipinde de üretilen elektrik enerjilerinin birbirine yakıl olmasıdır. Bunun nedeninin; güneş enerjisinden hem günün belli saatlerinde hem de yılın belli dönemlerinde yani kesintili olarak yararlanılabiliniyorken, jeotermal kaynaklardan kesintisiz olarak elektrik üretiminin mümkün olmasının olabileceği değerlendirilmektedir.



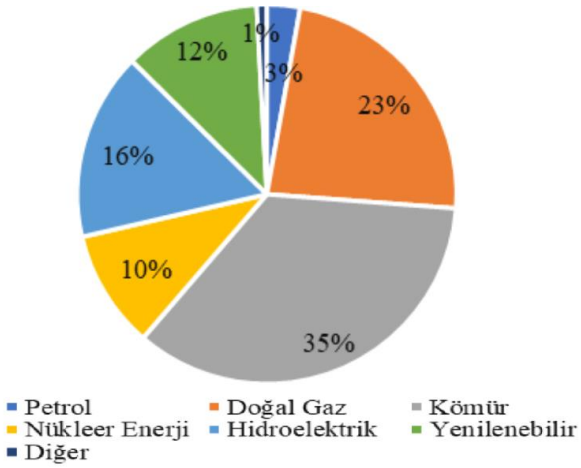
Şekil 2. Türkiye'nin kaynak bazında yenilenebilir enerji elektrik üretiminin gelişimi.

Şekil 3'de verilen, Türkiye'nin 2020 yılı sonu itibariyle lisanslı ve lisanssız kurulu gücün kaynak bazında dağılımı incelendiğinde; %32.32'nin hidrolik (su), %27.16'nın doğal gaz, %20.77'nin kömür, %9.21'nin rüzgar, %6.95'nin Güneş, %1.68'nin jeotermal ve %1.16'nın biyokütle enerji kaynaklarından oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3. Türkiye'nin 2020 yılı sonu itibariyle lisanslı ve lisanssız kurulu gücün kaynak bazında dağılımı.

Ülkemizin elektrik enerjisi üretimi amacıyla kurulu gücünün kaynak bazındaki dağılımını, Dünyanın elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı ile karşılaştırarak, aramızdaki farklılık ya da benzerlikler ile bulunduğumuz konumu tespit etmek mümkündür. Bunun için de, Dünyamızın ve ülkemizin aynı dönemdeki enerji tüketimine göz atmamız gerekmektedir. Dünyamızın aynı dönemde, yıllık birincil enerji tüketimi yaklaşık 14 Milyar TEP (ton eşdeğeri petrol) ve Türkiye'nin birincil enerji tüketimi ise Dünya tüketiminin yaklaşık %1'i olup 0.14 Milyar TEP'dir (1 TEP = 11630 kWh). Türkiye'nin birincil enerjiden üretilen elektrik enerjisi tüketimi ise 2020 yılı için yaklaşık 305 Milyar kWh'dir. Elektrik enerjisi tüketimindeki yıllık artışlar çok değişken olmakla birlikte her yıl ortalama % 4-5 arttığı söylenebilir [14, 15, 16]. 2030 yılında bu ihtiyacın 450 Milyar kWh olacağı da öngörülmektedir. 2020 yılı için Türkiye'de kişi başına yıllık elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 3500 kWh olup, 2030 yılında 4500 kWh civarında olacağı öngörülmekte ve 5000 kWh'e çıkarılması da hedeflenmektedir. Bu değer OECD ve Avrupa Birliği Ülkeleri'nde ortalama olarak 6000 kWh civarındadır [17, 18, 19]. Şimdi de Dünyadaki elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımını ülkemizin durumuyla karşılaştıralım. Şekil 4'de görüldüğü üzere; Dünyadaki elektrik enerjisi üretiminin %35'i kömür, %23'ü doğal gaz, %16'sı hidrolik, %12'si yenilenebilir, %10'u nükleer, %3'ü petrol ve %1'i diğer enerji kaynaklarından elde edilmektedir.

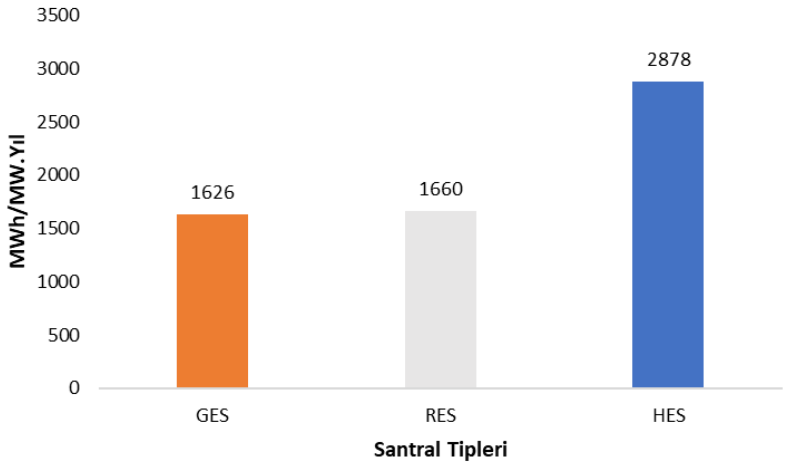


Şekil 4. Dünyada 2020 yılında elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.

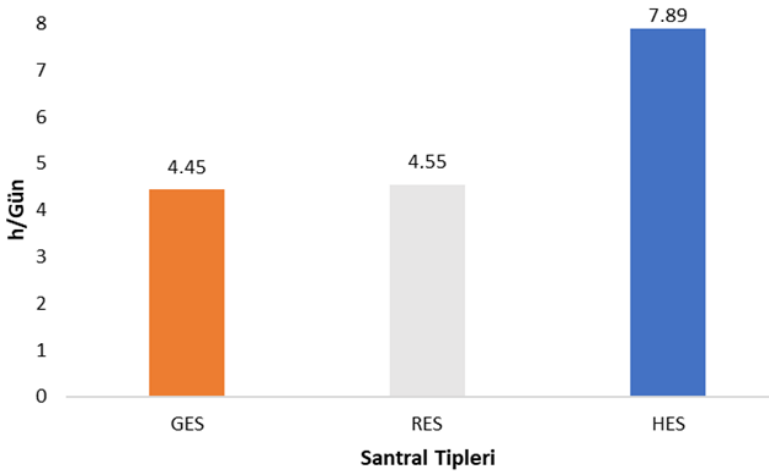
Türkiye'nin 2020 yılı sonu itibariyle kurulu gücün kaynak bazında dağılımı ile Dünyadaki elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı karşılaştırıldığında; hidrolik enerjiden yani sudan yaklaşık %100, yenilenebilir diğer enerji kaynaklarından %58, doğal gazdan %18 daha fazla faydalandığımız görülmektedir. Kömürü ise Dünya ortalamasından %40 daha az kullandığımız ve nükleer enerjiden ise hiç yararlanamadığımız anlaşılmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Adıyaman ili sınırları içerisinde aktif olarak faaliyet gösteren ve elektrik enerjisi üretimi yapan GES, RES ve HES'ler için; 1 MW kurulu güç başına 1 yılda üretilen ortalama elektrik enerjsi miktarı (MWh/MW.yıl) ile 1 MW kurulu güçte ortalama günlük çalışma süreleri (h/gün) Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde; GES ve RES'lerden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu ancak, HES'lerden üretilen değerlerin %75 daha yüksek olduğu görülmüştür.

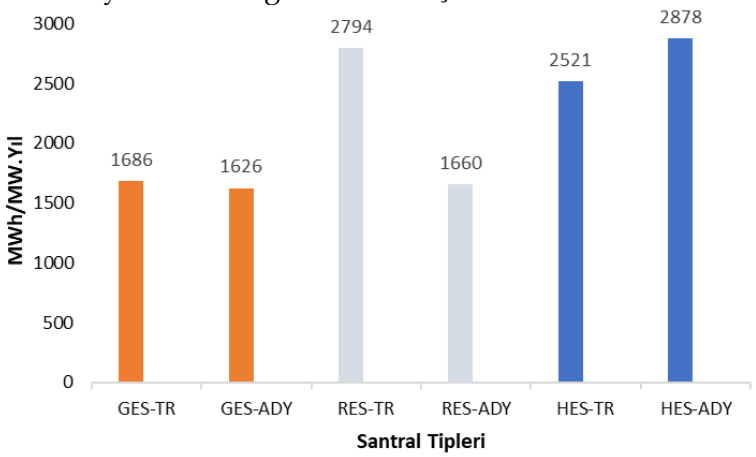


Şekil 5. GES, RES ve HES'ler için 1 MW kurulu güç başına 1 yılda üretilen elektrik enerjsinin (MWh/MW.yıl) Adıyaman için ortalama değerleri.

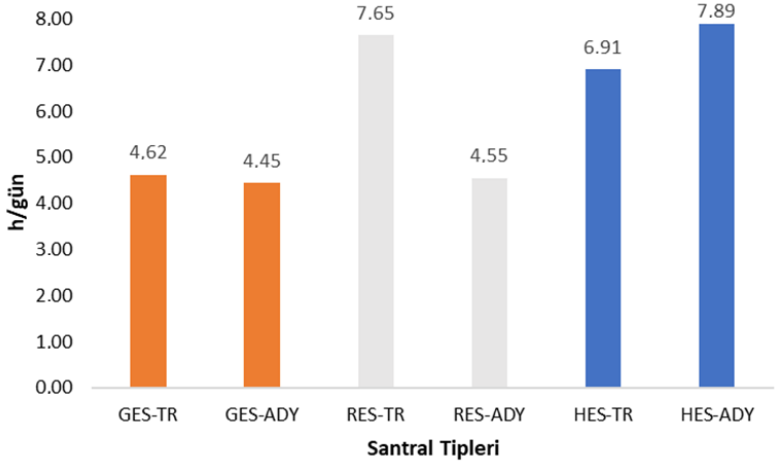


Şekil 6. GES, RES ve HES'ler için 1 MW kurulu güçte ortalama günlük çalışma sürelerinin (h/gün) Adıyaman için değerleri.

Yine bu değerler yani, GES, RES ve HES'ler için; 1 MW kurulu güç başına 1 yılda üretilen ortalama elektrik enerjsi miktarı (MWh/MW.yıl) ile 1 MW kurulu güçte ortalama günlük çalışma süreleri (h/gün) Adıyaman ve Türkiye için, karşılaştırma amacı ile Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir. Bu şekiller incelenerek; Adıyaman ilinde elde edilen değerlerin Türkiye ortalaması ile karşılaştırılması yapıldığında; GES değerleri arasında kaydadeğer bir farklılık olmadığı, Türkiye RES ortalamasının Adıyaman RES ortalamasından %68 daha yüksek olduğu ancak buna karşın, Adıyaman HES ortalamasının da Türkiye HES ortalamasından %14 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

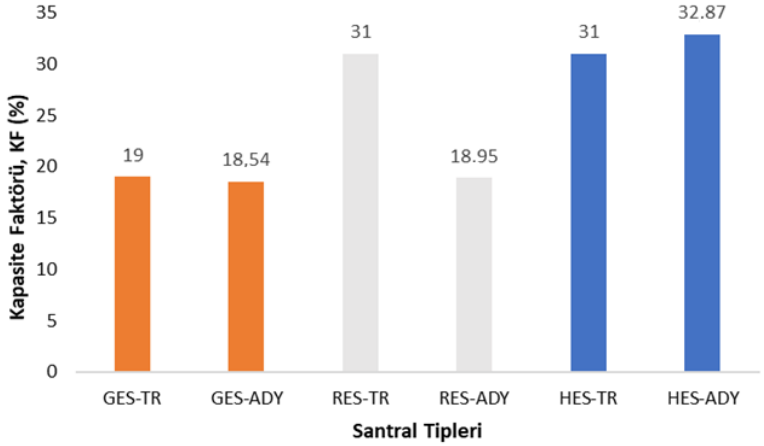


Şekil 7. GES, RES ve HES'ler için 1 MW kurulu güç başına 1 yılda üretilen elektrik enerjsinin (MWh/MW.yıl) Türkiye ve Adıyaman için ortalama değerleri.



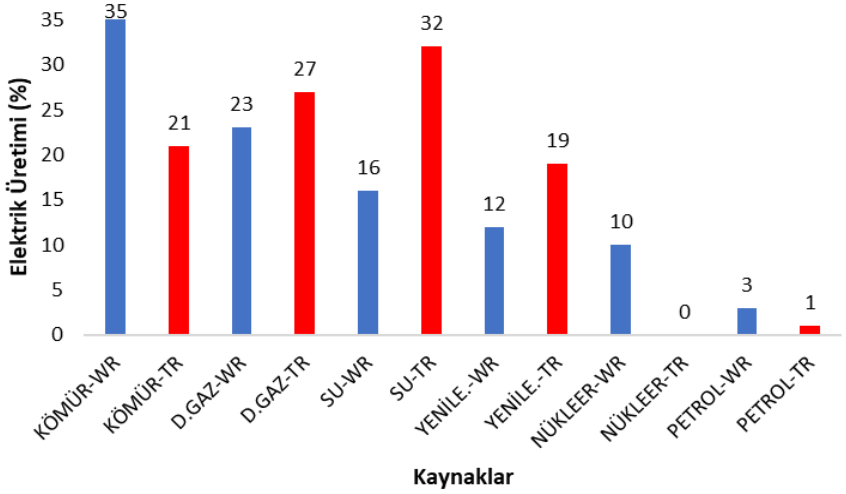
Şekil 8. GES, RES ve HES'ler için 1 MW kurulu güçte ortalama günlük çalışma sürelerinin (h/gün) Türkiye ve Adıyaman için değerleri.

Şekil 9'da görüldüğü üzere, GES, RES ve HES'ler için kapasite faktörü değerlerinin Türkiye ve Adıyaman için büyüklükleri karşılaştırıldığında; GES ve HES'ler için kaydadeğer bir faklılık olmadığı ancak, Türkiye ortalama RES kapasite faktörünün (KF) Adıyaman ortalamasından %64 daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 9. GES, RES ve HES'ler için kapasite faktörü değerlerinin Türkiye ve Adıyaman için büyüklükleri.

Elektrik enerjisinin üretildiği enerji kaynaklarının dağılımı, hem Türkiye ve hem de Dünya için Şekil 10'da karşılaştırma için verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde; kömürden elektrik enerjisi üretiminde Dünya ortalamasından %67 daha az, doğal gazdan üretimden %17 daha fazla, hidroelektrikten yani sudan %100 daha fazla, yenilenebilir kaynaklardan %58 daha fazla yararlanıldığı anlaşılmaktadır. Nükleer enerjiden elektrik üretiminde ise hiç yararlanılamadığı da görülmektedir.



Şekil 10. Dünya (WR) ve Türkiye'de (TR) elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.

Gerek Adıyaman ve gerekse Türkiye'ye ilişkin elde edilen veriler; Dünyanın farklı ülkelerinde konuyla ilgili yapılmış çalışmalarla parallelik ve benzerlik göstermektedir. Örneğin; Litvanya'da yapılmış bir çalışmada RES'ler için 500 MW kurulu güç için yıllık üretilen elektrik enerjisi değeri 0.9 TWh; Bahamalar için, 3061 MW kurulu güce sahip GES için yıllık elektrik üretimi 6974 GWh; Bahreyn için iki farklı RES'e ilikin değerler 899 MWh/850kW.yıl, 872 MWh/850kW.yıl ve GES için iki farklı yılın değerleri ise 1632 MWh/MW.yıl, 1497 MWh/MW.yıl olarak elde edilmiştir. Bahreyn'e ilişkin bu değerler ayrıca ortalama olarak; RES için 2.9 kWh/ kW.gün ve GES için 4.3 kWh/kW.gün olarak da verilmiştir. Yine bu çalışmada RES amorti süresinin 40 yıl, GES amorti süresinin 12 yıl, GES elektrik üretiminin RES elektrik üretiminden %42 daha fazla olduğu, böylece GES'lerin RES'lere göre CO_2 salınımını da kömürle çalışan santrallere göre daha fazla azalttığı, yani 1 MW GES'in 654 ton CO_2 salınımını azaltırken, 1 MW RES'in 462 ton CO_2 salınımını azalttığı belirtilmiştir [10, 11, 12]. Yine başka bir çalışmada; Amerika Birleşik Devletleri birim MW kurulu RES gücü başına tahmini elektrik enerjisi üretiminin 1300 MWh/MW.yıl olduğu belirlenmiştir. Çin'de HES'lerle ilgili yapılan başka bir çalışmada ise; su debisinin yıl içerisinde 22-402 m^3/s aralığında değiştiği ve bunun da elektrik üretimini 0.1-11.4 GWh/gün aralığında azalttığı, ancak bu azalmanın HES-RES-GES entegrasyonu ile telafi edilebileceği ortaya konmuştur.

4. Sonuç

Sonuç olarak bütün veriler birlikte değerlendirildiğinde; gerek Adıyaman ilinde ve gerekse Türkiye genelinde, potansiyelinin sadece %3'ünden yararlanılan Güneş enerjisinden faydalanmak için GES'lerin; potansiyelinin %18.4'ünden elektrik üretilebilen rüzgar enerjisinden faydalanmak için RES'lerin ve potansiyelinin %68'i elektrik üretiminde kullanılabilen sudan yararlanmak için ise HES'lerin sayısının artırılması, enerji tedariki açısından gerekliliğin ötesinde bir zorunluluktur. Ayrıca, 2020 yılında; Adıyaman'ın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık yarısı zaten aktif olarak il sınırları içerisinde faaliyet gösteren GES, RES ve HES'lerden sağlanabilmektedir. Ölçümleri yapılan Halof ve Cendere RES istasyonlarının aynı yıl devreye sokulmuş olması durumunda ise, Adıyaman yıllık elektrik enerjisi tüketiminin tamamı Güneş, Rüzgar ve Sudan sağlanmış olacaktı. Bu durum; elektrik tüketimindeki yıllık artış oranı %4-5 civarında olan Adıyaman İlinde, aynı oranlara paralel olarak yapılacak yatırımlarla şehrin tüm elektrik enerjisi ihtiyacının bu temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmasının mümkün olabileceğini açıkça bize göstermektedir. Ayrıca; çevreye verdiği yüksek emisyon ve kirlilik nedeniyle kömür yerine ve %90'ın üzerinde dışa bağımlı olduğumuz doğal gaz yerine, nükleer enerjiden yararlanarak elektrik üretmenin ülkemiz için daha yararlı olacağı da değerlendirilmektedir.

Genel olarak elde edilmiş bu veriler ülkemiz açısından yorumlandığında ise; Adıyaman İli büyüklüğündeki benzer şehirlerimizde, GES, RES ve HES'lerin entegre edilerek elektrik enerjisi üretiminde kullanılması ile şehirlerin tüm elektrik enerjisinin sağlanmasının mümkün olacağı öngörülmektedir. Çünkü; GES, RES ve HES'ler entegre edildiğinde elektrik enerjisi üretimindeki mevsimsel ya da iklimsel dalgalanmaları ortadan kaldırarak yıl boyu düzenli üretim imkanı sunmaktadır. Örneğin, HES'lerde üretimin yüksek olduğu periyotlarda GES ve RES'lerin üretimi daha sınırlı olmakta, ancak GES ve RES'lerde üretimin düşük olduğu dönemlerde ise HES'lerin üretimi yüksek olmaktadır. İşte du döngü; bu santrallerin entegrasyonu ile yıl boyunca düzenli elektrik enerjisi üretimini olanaklı kılmaktadır. Bunun başarılması için ihtiyaç duyulan faaliyet; yerleşim yerlerine özgün GES, RES ve HES'lerin entegre çalışacağı projelemelerin yapılması, ölçümlerle elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve verilere uygun santrallerin kurulması için gerekli yatırım ve alt yapının oluşturulmasıdır.

Kaynaklar

[1] Goura R. Analyzing the On-Field Performance of a 1-Megawatt-Grid-Tied PV System in South India. International Journal of Sustainable Energy, 2015;34(1):1-9.

[2] Kumar BS, Sudhakar K. Performance Evaluation of 10 MW Grid Connected Solar Photovoltaic Power Plant in India. Energy Reports, 2015;1: 184-192.

[3] Omar A, Ismail D, Muzamir I. Simplification of Sun Tracking Mode to Gain High Concentration Solar Energy. American Journal of Applied Sciences, 2007;4(3): 171-175.

[4] Shukla AK, Sudhakar K, Baredar P. Simulation and Performance Analysis of 110 kWp Grid-Connected Photovoltaic System for Residential Building in India: A Comparative Analysis of Various PV Technology. Energy Reports, 2016;2:82-88.

[5] Dayem AMA. Set-up and Performance Investigation of an Innovative Solar Vehicle. In: First International Workshop on" Diffusion of New Energy Technologies in China", Shanghai, China; 2011

[6] Garrison M. The solar D house. In: 5th International Conference on Urban Regeneration and Sustainability, Skiathos, Greece, 2008.

[7] Hazami M, Kooli S, Lazaar M, Farhat A, Belghith A. Performance of a Solar Storage Collector. Desalination, 2005;183: 167-172.

[8] Tsai CS, Ting CH. Evaluation of a Multi-Power System for an Electric Vehicle. In: International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2010), Gyeonggi-do, South Korea, 2010.

[9] Ustun O, Yilmaz M, Gokce C, Karakaya U, Tuncay RN. Energy Management Method for solar race car design and application. In: IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC 2009), Miami, USA, 2009.

[10] Katinas V, Vrubliauskas S, Savickas J. Renewable Energy Sources Usage in Lithuania. In: Conference of the Lietuveos-Energetikos-Institutos 50, Lithuania, 2006,

[11] Bethel BJ. Site Identification and Power Production for Floating Photovoltaics in the Bahamas. Journal of Ocean Engineering and Marine Energy, 2025;11;783-798.

[12] Alnaser NW, Alnaser WE, Al-Kaabi EAD. Evaluating Solar and Wind Electricity Production in the Kingdom of Bahrain to Combat Climate Change. Frontiers in Built Environment, 2023;9:1210324.
[13] Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK). Elektrik Piyasası 2020 Yılı Piyasa Gelişim Raporu, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2021.
[14] TMMOB Makine Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu. Türkiye Enerji Görünümü 2021, Nisan 2021, Ankara.
[15] URL, 2022: https://enerji.mmo.org.tr/sunumlar/ (Erişim: 01.07.2022).
[16] URL, 2022: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020 (Erişim: 01.07.2022). International Energy Agency (IEA) World Energy Outlook 2020.
[17] URL, 2022: https://enerji.gov.tr (Erişim: 01.07.2022). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022, Ankara.
[18] URL, 2022: https://www.epdk.gov.tr (Erişim: 01.07.2022). T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, EPDK, 2022, Ankara.
[19] URL, 2022: https://www. https://www.teias.gov.tr (Erişim: 01.07.2022). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. 2022, Ankara.
[20] Gençel H, Tarhan İ. Rüzgar Enerjisinin Önemli Geçiş Yerlerinden Olan Çanakkale Bölgesindeki Bazı Rüzgar Enerji Santralleri İçin Kapasite Faktörü İncelemesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2019;5 (1): 120-139.
[21] Üregen Güler N, Yumurtacı Z. YEKDEM Politikası ve Yenilenebilir Enerji Gelişimi. 6. İzmir Rüzgar Sempozyumu, İzmir, 2021.
[22] Boretti A, Castelletto S. Variability in Wind Energy on Interannual and Decadal Scales and Its Influence on Hydrogen Energy Storage. Energy Storage, 2024; 6 (4): e671
[23] Wang XX, Virguez E, Kern J, Chen LH, Mei YD, Patino-Echeverri D, Wang H. Integrating Wind, Photovoltaic, and Large Hydropower During the Reservior Refilling Period. Energy Conversion and Management 2019;198: 111778.